



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIOENGINEERING

**SYSTÉM DOMOVNÍHO VYTÁPĚNÍ S HYBRIDNÍ
KOMUNIKACÍ**

HOME HEATING CONTROL WITH HYBRID COMMUNICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Milan Ambrož

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Milan Ambrož

ID: 174190

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Systém domovního vytápění s hybridní komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte současné systémy řízení vytápění rodinných domů, zaměřte se na principy adaptivních termostatů a ekvitermní regulace. Navrhněte blokovou koncepci systému, který bude zahrnovat řídicí jednotku, termostaty, ovládání elektrokotle a dalšího zdroje tepla a záložní zdroj. Pro všechny jednotky uvažujte hybridní komunikaci (např. drátovou RS-485 a bezdrátovou LoRa). Zvolte vhodnou řídicí jednotku se systémem Linux a demonstруйте základní funkčnost hybridní komunikace s vývojovými kity.

Navrhněte obvodové zapojení a realizujte prototypy jednotlivých modulů systému domovního vytápění. Vytvořte firmware podružných modulů a software pro řídicí modul včetně webového rozhraní. Přístupné funkce vyvinutého driveru pro hybridní komunikaci budou univerzální, tj. nezávislé na použité fyzické vrstvě (RS-485, LoRa). Srovnějte dosažené parametry pro drátovou a bezdrátovou komunikaci. Ověřte funkci celého systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GOODWIN, S. Smart Home Automation with Linux and Raspberry Pi. New York: Apress, 2013.

[2] Hope Microelectronics Co.,Ltd. [online]. RFM95/96/97/98(W) - Low Power Long Range Transceiver Module V1.0 [cit. 14.5.2018]. Dostupné na [www: https://goo.gl/cxyzL1](https://goo.gl/cxyzL1)

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 28.5.2020

Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému domovního vytápění s hybridní komunikací pro řízení vytápění především rodinných domů. Celek je připraven především pro práci s akumulací nádobou a více zdroji tepla.

KLÍČOVÁ SLOVA

vytápění, domácí automatizace, ovládání kotle, regulace teploty, RFM-95, STM32

ABSTRACT

In this thesis, heating system with hybrid control of the heating intended for houses is proposed. The system is primarily prepared for storage tank and multiple heat sources.

KEYWORDS

heating, home automation, boiler control, temperature control, RFM-95, STM32

Ambrož Milan. Systém domovního vytápění s hybridní komunikací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2020. 55 s., 10 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Systém domovního vytápění s hybridní komunikací jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Aleš Povalač, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další rady při zpracování mé diplomové práce. Také bych rád poděkoval mé rodině, která mi byla vždy oporou.

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1 Systémová analýza	2
1.1 Požadavky na systém	2
1.1.1 Regulace kotle na tuhá paliva	2
1.1.2 Další zdroje tepla	2
1.1.3 Záložní zdroj pro případ výpadku proudu	3
1.1.4 Zabudování do objektu	3
1.2 Existující řešení.....	3
1.2.1 Ekvitermní regulace	3
1.2.2 Programovatelné hlavice.....	4
1.2.3 Systém regulace s využitím centrální jednotky	5
2 Systém domácího vytápění	8
2.1 Řídící jednotka systému.....	9
2.2 Jednotka pokojového termostatu	9
2.3 Záložní zdroj	10
3 Výběr komponent	11
3.1 Mikroprocesor hlavní jednotky	11
3.2 Mikroprocesor jednotky pokojového termostatu	12
3.3 Komunikační modul Lo-Ra	12
3.4 Komunikace pomocí RS 485	13
3.5 Čidla měření teploty.....	14
3.6 Zobrazovací jednotky	14
3.7 Napájecí zdroj	16
4 Návrh schématu a plošných spojů	17
4.1 Napájení pokojového termostatu	17
4.2 Napájení hlavní jednotky	18

4.3	Sběrnice RS485.....	18
4.4	Ovládání termoelektrické hlavice	19
4.5	Reléový výstup hlavní jednotky	20
4.6	Optický vstup hlavní jednotky	21
4.7	Návrh DPS jednotky pokojového termostatu	22
4.8	Návrh DPS Hlavní jednotky	23
5	Návrh softwarového vybavení	24
5.1	Software jednotky pokojového termostatu	24
5.1.1	Start softwaru a konfigurace periferií	25
5.1.2	Obsluha přerušení časovačů pokojového termostatu.....	26
5.1.3	Obsluha hlavní smyčky pokojového termostatu	27
5.2	Software hlavní jednotky	29
5.2.1	Start softwaru a konfigurace periferií	29
5.2.2	Obsluha přerušení časovačů hlavní jednotky.....	31
5.2.3	Obsluha hlavní smyčky hlavní jednotky.....	32
5.3	Popis použitých knihoven	34
5.3.1	Obsluha Lo-Ra modulu RFM95	34
5.3.2	Komunikace pomocí sériové linky uart	36
5.3.3	Použití funkcí printf a sprintf.....	36
5.3.4	Obsluha čidla DS18B20 jednotky pokojového termostatu.....	37
5.3.5	Obsluha čidel DS18B20 hlavní jednotky.....	38
5.3.6	Blokující funkce čekání v mikrosekundách.....	38
5.3.7	Obsluha displeje s TM1637	40
5.3.8	Obsluha LCD displeje hlavní jednotky a menu	41
5.3.9	Obsluha obvodu reálného času	41
5.3.10	Obsluha externích přerušení	42
6	výroba systému a funkce	43
6.1	Výroba a osazení desek plošných spojů	44
6.2	Připojení jednotky pokojového termostatu	47
6.3	Ovládání jednotky pokojového termostatu	48
6.4	Připojení hlavní jednotky.....	49
6.5	Ovládání hlavní jednotky.....	52
6.6	Záložní zdroj a napájení.....	54

7 Závěr	55
Literatura	56
Seznam symbolů, veličin a zkratk	58
A.1 Obvodové zapojení jednotky pokojového termostatu	59
A.2 Deska plošného spoje jednotky pokojového termostatu.....	60
A.3 Osazovací plán plošného spoje jednotky pokojového termostatu (top) .	60
A.4 Osazovací plán plošného spoje jednotky pokojového termostatu (bottom)	61
A.5 Obvodové zapojení hlavní jednotky	62
A.6 Deska plošného spoje hlavní jednotky.....	63
A.7 Osazovací plán plošného spoje hlavní jednotky (top)	64
A.8 Osazovací plán plošného spoje hlavní jednotky (bottom)	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Ekvitermní křivky [1].....	4
Obrázek 1.2 Programovatelná hlavice [2]	5
Obrázek 1.3 Řídící jednotka MAX [3]	6
Obrázek 1.4 Digitální termohlavice MAX [3].....	6
Obrázek 1.5 Ovladatelná mezizásuvka MAX [3].....	7
Obrázek 2.1 Blokové schéma systému	8
Obrázek 2.2 Blokové schéma centrální jednotky	9
Obrázek 2.3 Blokové schéma pokojové jednotky	10
Obrázek 3.1 Vývojový kit Nucleo 64	11
Obrázek 3.2 Modul RFM-95	12
Obrázek 4.1 Napájecí část pokojového termostatu.....	17
Obrázek 4.2 Zapojení obvodu sběrnice RS 485	18
Obrázek 4.3 Obvod ovládání termoelektrické hlavice.....	19
Obrázek 4.4 Obvod reléového výstupu.....	20
Obrázek 4.5 Obvod optického vstupu.....	21
Obrázek 4.6 Instalační krabice LK80	22
Obrázek 5.1 Zkrácený vývojový diagram hlavní smyčky pokojového termostatu	24
Obrázek 5.2 Vývojový diagram začátku programu pokojové jednotky	25
Obrázek 5.3 Vývojový diagram přerušení Tim14	26
Obrázek 5.4 Vývojový diagram hlavní smyčky pokojového termostatu.....	27
Obrázek 5.5 Vývojový diagram úlohy 1s task pokojového termostatu.....	28
Obrázek 5.6 Zkrácený vývojový diagram hlavní smyčky hlavní jednotky	29
Obrázek 5.7 Vývojový diagram začátku programu hlavní jednotky	30
Obrázek 5.8 Vývojový diagram přerušení Tim14 hlavní jednotky	31
Obrázek 5.9 Vývojový diagram hlavní smyčky hlavní jednotky	32
Obrázek 5.10 Vývojový diagram ovládání čerpadla	33
Obrázek 5.11 Ukázka kódu pro odesílání dat pomocí SPI	35
Obrázek 5.12 Ukázka nuceného vyprázdnění bufferu.....	37
Obrázek 5.13 Vývojový diagram vyhledávání čidel	38
Obrázek 5.14 Vývojový diagram funkce _delay_us.....	39

Obrázek 5.15 Zapnutí časovače tím1	39
Obrázek 5.16 Upravené čekání na HW časovač	40
Obrázek 5.17 Zobrazení znaku na displeji.....	40
Obrázek 5.18 Správné vyčtení obvodu reálného času	42
Obrázek 6.1 První prototyp jednotky pokojového termostatu - přední strana.....	44
Obrázek 6.2 První prototyp jednotky pokojového termostatu - zadní strana	44
Obrázek 6.3 Druhý prototyp jednotky pokojového termostatu - přední strana	45
Obrázek 6.4 Druhý prototyp jednotky pokojového termostatu - zadní strana.....	45
Obrázek 6.5 Osazený modul hlavní jednotky	46
Obrázek 6.6 Zobrazení aktuální teploty.....	48
Obrázek 6.7 Nastavení teploty uživatelem	48
Obrázek 6.8 Uživatelsky nastavená teplota	49
Obrázek 6.9 Hlavní obrazovka menu hlavní jednotky	52
Obrázek 6.10 Zobrazení registrovaných termostatů	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 6.1 Tabulka dosaženého spojení	43
Tabulka 6.2 Konektor SV1 jednotky pokojového termostatu	47
Tabulka 6.3 Konektor X1 jednotky pokojového termostatu.....	47
Tabulka 6.4 Naměřené parametry napájení jednotky pokojového termostatu	47
Tabulka 6.5 Konektor SV1 hlavní jednotky	49
Tabulka 6.6 Konektor SV2 hlavní jednotky	50
Tabulka 6.7 Konektor X1 hlavní jednotky	50
Tabulka 6.8 Konektor X10 napájení hlavní jednotky	50
Tabulka 6.9 Naměřené parametry napájení hlavní jednotky	51
Tabulka 6.10 Konektor X15 hlavní jednotky	51
Tabulka 6.11 Využitá relé hlavní jednotky.....	51
Tabulka 6.12 Konektory X2 až X9 výstupních relé	51
Tabulka 6.13 Konektory X11 až X14 vstupních opticky oddělených signálů	52
Tabulka 6.14 Struktura dat řídicího slova "SID"	53
Tabulka 6.15 Struktura dat řídicího slova "SMA"	54
Tabulka 6.16 Struktura dat řídicího slova "time"	54

ÚVOD

Pro vytápění budov se nejčastěji využívá systém ústředního topení. Základním principem systému je jeden centrální zdroj tepla, který předává teplo do kapaliny. Ta koluje v uzavřeném vodním okruhu s radiátory, které jsou umístěny v místnostech. Radiátory poté ohřívají vzduch v místnostech.

Tento systém je součástí téměř všech rodinných domů, kde ho nalezneme nejčastěji v základní funkční podobě, kdy není vybaven žádnou regulací vyjma zásahu osoby, které obsluhuje zdroj tepla, nejčastěji kotel na tuhá paliva.

Velkou nevýhodou tohoto systému je právě absence regulace. často dochází k přetopení některých místností a nedostatečnému vytápění jiných, což se kompenzuje pomocí ručně ovládaných hlavíc. Toto lze řešit instalací hlavíc ovládaných teplotou v místnosti, které se instalují nejčastěji při výměně radiátorů za nové, deskové typy. Zde nastane ale velký problém, pokud není nainstalován automatický kotel. Po vytopení místností na požadovanou teplotu se radiátory postupně uzavřou a tímto se přestane odebírat teplo, což u roztopeného kotle je velký problém, řešitelný pouze koupí kotle automatického.

Pokud vytápíme malý objekt, kde je použita jako zdroj tepla krbová vložka s teplovodním výměníkem, je velmi problematická regulace výkonu a pravděpodobnost přetopení vložky je vysoká

Tato problematika vedla k návrhu a realizaci systému domovního vytápění, který řeší problémy regulace zdrojů tepla a zároveň zvyšuje efektivitu vytápění místností. Systém je připraven pro další rozšíření funkcí. Dalším úkolem systému je řízení a regulace dalšího zdroje tepla, elektrokotle a tepelného čerpadla.

Systém je napájen elektrickou energií z rozvodné sítě. Většina dnešních topných systémů vyžaduje elektrické oběhové čerpadlo. Celek je tedy schopen pracovat při výpadku proudu minimálně po dobu nutnou k odstavení zdroje tepla, případně pro napájení systému do obnovení napájení z rozvodné sítě. Toto je realizováno pomocí záložního zdroje s akumulátorem.

1 SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Systém musí zajistit bezproblémový chod vytápění domácnosti. Zároveň musí být univerzální pro splnění požadavků ideálně všech instalací. Proto se tato část zabývá především analýzou reálných situací a možných řešení.

Bylo by vhodné systém vytvořit z několika samostatně funkčních jednotek, které obstarávají funkce systému. Rozhodně není vhodné tvořit jednu centrální jednotku, která zastane všechny funkce.

V první části této kapitoly je proveden rozbor požadavků na výsledný systém a návrh jejich řešení, v druhé části jsou zmíněna dostupná řešení na trhu.

1.1 Požadavky na systém

Celý systém musí splňovat několik požadavků. Musí umožnit provoz vícero zdrojů tepla, regulovat teploty v místnostech ideálně s možností nočního režimu snížené teploty. Dále je třeba zajistit chod i při výpadku síťového napájení.

1.1.1 Regulace kotle na tuhá paliva

Největším problémem systému je jakýkoliv zdroj tepla, který nelze regulovat okamžitě. Kotel po doplnění paliva dodává přibližně konstantní výkon a nelze jej vypnout, podobně jako křbová kamna.

Pokud by se přestalo topit ve všech místnostech, došlo by ihned k přetopení zdroje tepla. Tento problém řeší akumulární nádoba, která akumuluje přebytečné teplo dostatečně dlouhou dobu a obsluha může tedy včas přestat doplňovat nové palivo. Tímto řešením se odstraní problém regulace a také se zlepší efektivita provozu kotle, protože dojde k zvýšení setrvačnosti soustavy.

1.1.2 Další zdroje tepla

Dalšími zdroji tepla pro vytápění domu jsou tepelné čerpadlo a elektrokotel. Tohoto způsobu vytápění se využívá v případě, kdy není možné topit v kotli na tuhá paliva. To nastane například při dovolené, nebo když dojde zásoba tepla v akumulární nádrži.

Akumulární nádrž je v tomto případě opět výhodou, protože při topení kotlem na tuhá paliva se nádrž ohřeje na vyšší teplotu, oproti elektrokotli, případně tepelnému čerpadlu. K spuštění tedy dojde zcela automaticky, případně mohou všechny zdroje tepla ohřívat nádrž společně. V reálné situaci není ale žádoucí provozovat tepelné čerpadlo spolu s elektrokotlem z důvodu možnosti nadměrného zatížení přívodního vedení a také z důvodu několikrát větší efektivity tepelného čerpadla.

1.1.3 Záložní zdroj pro případ výpadku proudu

Důležitá část systému je záložní zdroj. Pokud v případě topení v kotli na tuhá paliva, nebo krbové vložce dojde k výpadku napájení oběhového čerpadla, dojde k riziku přehřátí výměníku. Pro tento případ se instaluje dochlazovací zařízení, které k ochlazení využívá vodu z vodovodu. Ohřátá voda se poté vypouští bez užitku do kanalizace. Problém nastane, pokud nejsme napojeni na vodovodní řád a voda je získávána pomocí domácí vodárny napájené elektřinou.

z tohoto důvodu je lepší nainstalovat záložní zdroj energie, který umožní taktéž provoz celého systému z akumulátoru. V závislosti na kapacitě zvoleném akumulátoru lze měnit dobu zálohy.

1.1.4 Zabudování do objektu

Pokud je systém instalován v novostavbě, nebo při rekonstrukci, je počítáno již s potřebnou infrastrukturou. Problém nastane tehdy, kdy se systém instaluje do hotového domu a není možné přivést infrastrukturu. Z tohoto důvodu je vhodné mít možnost bezdrátového spojení. Toto spojení musí být ale spolehlivé i ve větších domech s velkým útlumem zdí.

1.2 Existující řešení

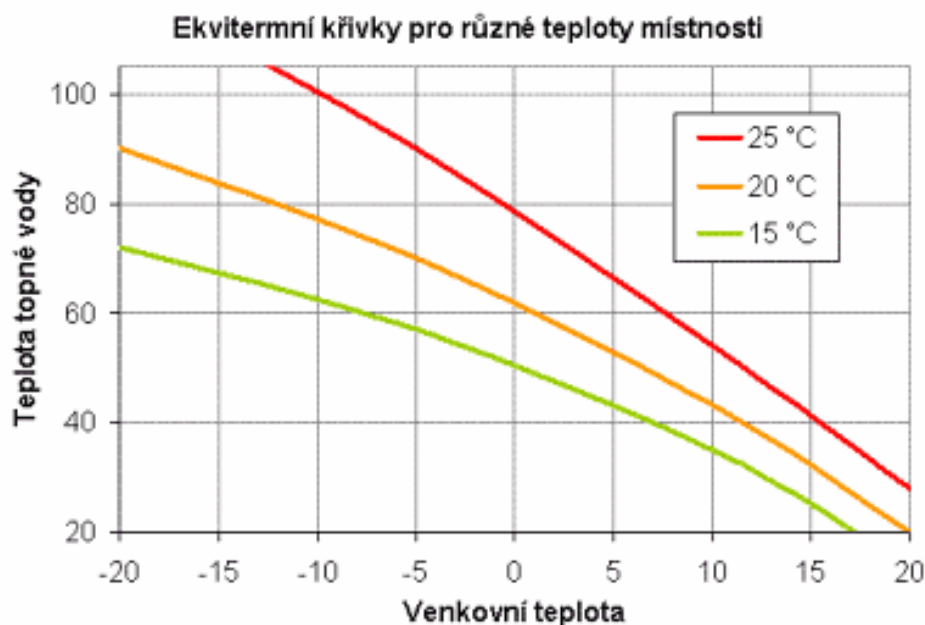
Na trhu existuje mnoho řešení pro regulaci vytápění jednotlivých místností. Bohužel většina je zaměřena na systémy, které mají regulaci samotné kotelny a jsou připraveny na individuální uzavření radiátorů ze strany uživatele, například bytové a panelové domy. Níže jsou popsány nejčastěji montované systémy regulace vytápění.

Tyto systémy většinou disponují ovládáním pomocí webového rozhraní, kde je možné nastavit parametry, případně možnosti propojit systém s mobilním telefonem. Toto usnadňuje konfiguraci a umožňuje vyčítat data systému, pokud to použitý systém umožňuje.

1.2.1 Ekvitermní regulace

Jedná se o nejjednodušší regulaci vytápění. Směšovací třicestný ventil směšuje horkou vodu z akumulární nádoby se studenou vodou, která se vrací z radiátorů. Tím se dosahuje snížení teploty topné vody a klesá tím topný výkon radiátorů.

Teplota otopné vody pro radiátory je nastavována směšovacím ventilem v závislosti na venkovní teplotě tak, aby teplo dodané radiátory odpovídalo tepelným ztrátám místnosti. Na obrázku 1.1 uvedeném níže jsou znázorněny křivky pro tři různé teploty v místnosti. Tyto křivky jsou dané tepelnou ztrátou místnosti a výkonem radiátorů. Problematika ekvitermní regulace je velmi dobře vysvětlená v článku na stránkách z odkazu [1].



Obrázek 1.1 Ekvitermní křivky [1]

Pokud v místnostech jsou instalovány termohlavice, systém začne pracovat velmi efektivně. Tímto systémem je také vybavena většina automatických zdrojů tepla, které umožňují nastavení teploty otopné vody. Poté stačí nastavit vhodnou křivku tak, aby se všechny místnosti správně vytopili. S tímto řešením nastane ovšem nutnost použít oběhové čerpadlo, které umí regulovat výstupní tlak vody. Dále není možné ekvitermní regulaci používat s kotlem, který neumožňuje plynule nastavit výkon, či se zcela odstavit. U elektrokotle, tepelného čerpadla a jiných snadno regulovatelných zdrojů je ekvitermní regulace již zabudována.

1.2.2 Programovatelné hlavice

Uživatelsky nejméně náročný způsob regulace vytápění je instalace programovatelných hlavice. Tyto hlavice lze koupit a nainstalovat bez zásahu do vodního systému.

Musí být demontována původní manuálně ovládaná termohlavice a na její místo se namontuje programovatelná hlavice. Následně je nutné tuto programovatelnou hlavici nastavit. Většina těchto běžně prodávaných hlavice má nastavení dvou teplot. První teplota je pro normální režim, druhá teplota je útlumová. Útlumová teplota, případně noční režim, slouží pro snížení teploty místnosti v době nepřítomnosti lidí, nebo spánku. Přepnutí mezi těmito režimy umožňují základní hlavice dvakrát za den, lepší hlavice umožňují i funkce týdenního režimu. Na obrázku 1.2 je znázorněna běžná programovatelná hlavice.



Obrázek 1.2 Programovatelná hlavice [2]

Nevýhodou těchto hlavic je nutnost naprogramování každé jednotlivé. Proto se hodí pouze do malých bytů, nikoliv do rozlehlých objektů. Taktéž je problém s regulací, pokud máme více radiátorů v jedné místnosti.

1.2.3 Systém regulace s využitím centrální jednotky

Tento systém je v základu podobný systému programovatelných hlavic, jen navíc disponuje centrální jednotkou a bezdrátovou komunikací. Ovládací hlavice poté nemají zabudované algoritmy pro řízení, jen komunikují s centrální jednotkou a předávají si s centrální jednotkou informace.

Hlavice instalovaná na radiátoru většinou měří teplotu v místnosti aby nemusel být instalován termostat na stěně v každé místnosti. Nastavení takového systému se dále provádí centralizovaně pomocí počítače za pomoci webové aplikace, případně pomocí chytrého telefonu. Umožňuje také mnohem více funkcí včetně statistických a dohledových.

Jedním z rozšířenějších systémů je systém MAX [3]. Tento systém disponuje mnoha komponenty, ale neumožňuje spínání oběhového čerpadla akumulční, případně zdroje tepla. Tento problém lze vyřešit koupí ovladatelné zásuvky, obrázek 1.5, kterou lze demontovat a upravit její zapojení tak, aby relé ovládalo zdroj tepla. Ovládat lze pouze takové zdroje tepla, které jsou automatické a mají reléový vstup pokojového termostatu. V době průzkumu trhu byl problém sehnat do tohoto systému ovladatelnou zásuvku. Výrobce je pro malý zájem přestal vyrábět. Původně je určena pro spínání přímotopů.



Obrázek 1.3 Řídící jednotka MAX [3]



Obrázek 1.4 Digitální termohlavice MAX [3]



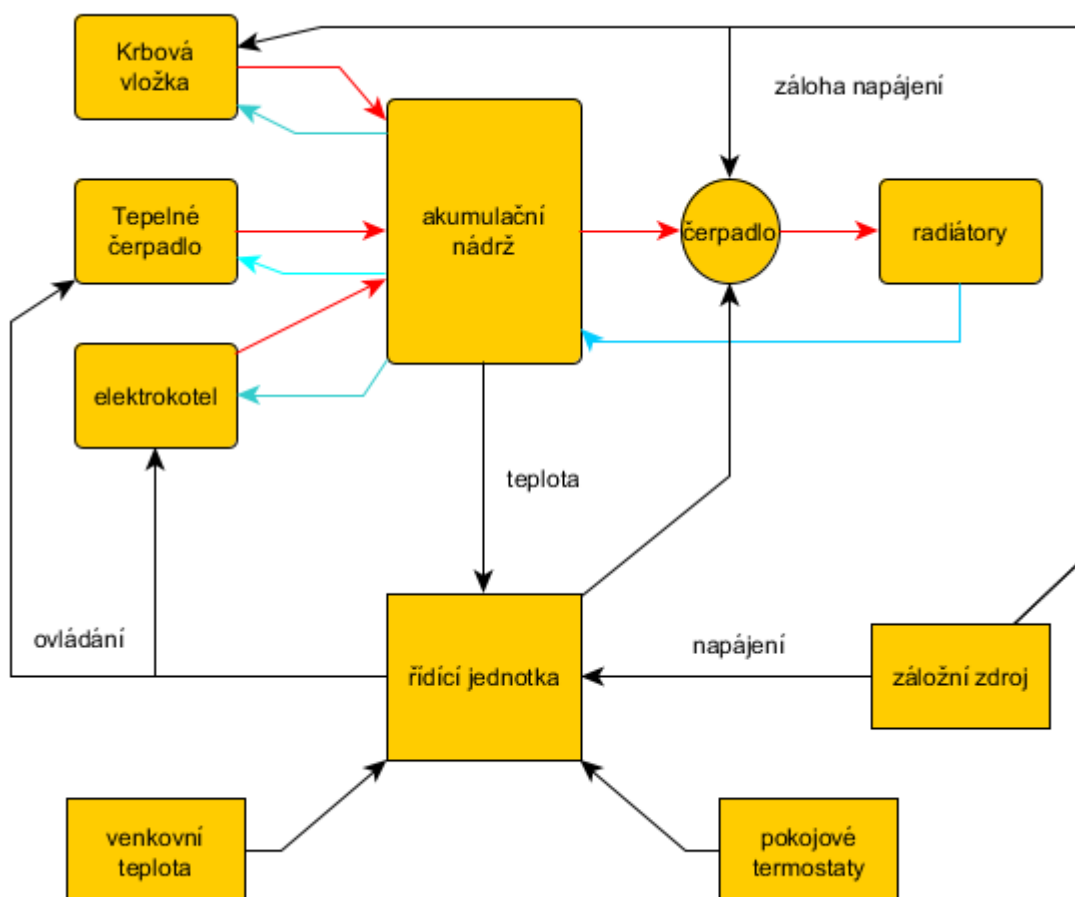
Obrázek 1.5 Ovladatelná mezizásuvka MAX [3]

2 SYSTÉM DOMÁCIHO VYTÁPĚNÍ

Tento systém regulace již odstraňuje některé nevýhody existujících řešení. A to zejména umět pracovat s akumulací nádrží. Dále regulovat více zdrojů tepla, například tepelné čerpadlo a elektrokotel. Elektrokotel lze zakomponovat jako součást akumulací nádrže. Nejlépe to znázorňuje níže znázorněné blokové schéma celého systému na obrázku 2.1.

Akumulací nádrž nejenže plní funkci akumulace tepla, ale také odděluje jednotlivé okruhy zdrojů a radiátorů. Rozvod teplé otopné vody je značen červeně, studené modře a černě jsou označeny elektrické rozvody. Napájení není zakresleno. Vyznačeno je pouze zálohování oběhového čerpadla radiátorů a krbové vložky pro umožnění činnosti v případě výpadku proudu.

Tepelné čerpadlo a elektrokotel v sobě již obsahují veškerou potřebnou technologii a jsou ovládány pouze externím signálem, zapnutí nebo vypnutí. Řídicí jednotka pouze omezuje chod tepelného čerpadla v případě poklesu venkovní teploty pod nastavenou úroveň a přepne na elektrokotel. Toto je indikováno na displeji řídicí jednotky systému.

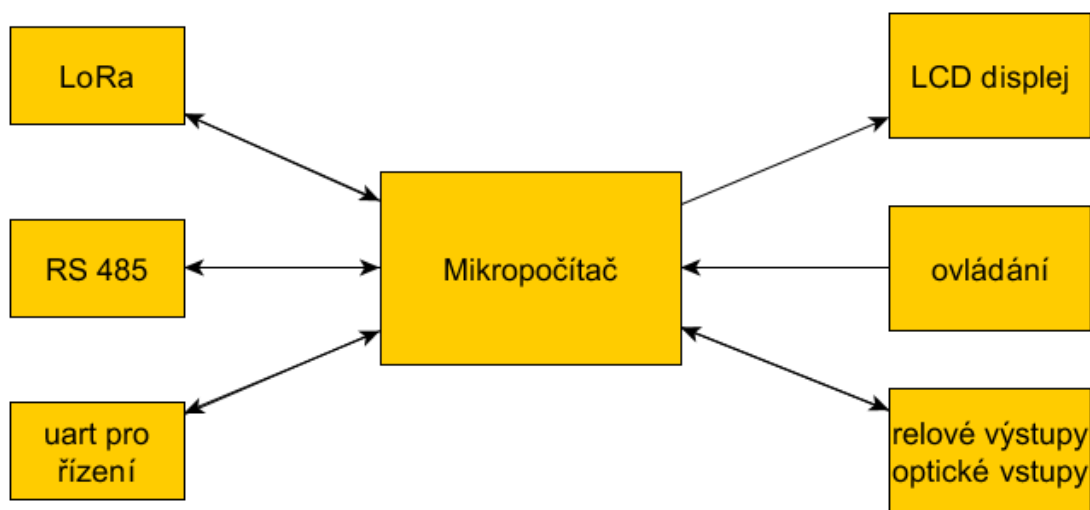


Obrázek 2.1 Blokové schéma systému

2.1 Řídící jednotka systému

Řídící jednotka je nejdůležitější součástí celého systému. Musí zpracovávat data z připojených termostátů za pomoci bezdrátové technologie, nebo drátové RS485. Také je připojena k počítači, který obstarává zadávání a čtení hodnot systému.

Vzhledem k tomu, že bude jednotka umístěna v kotelně poblíž kotle, je vhodné zakomponovat, displej pro zobrazení aktuálních informací pro možnost sledovat stav bez nutnosti připojovat se pomocí počítače. Konfiguraci řídicí jednotky znázorňuje níže uvedené blokové schéma na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2 Blokové schéma centrální jednotky

Celá tato jednotka díky své konektivitě zvládne připojit drátové i bezdrátové komponenty. součástí je LCD displej a vstupní rozhraní uživatele za pomoci rotační enkodér. Dále musí být zakomponovány vstupní a výstupní porty pro ovládání komponentů systému a také čtení vstupů pro případnou detekci různých signálů, například nízkého tarifu. Pro budoucí rozšiřitelnost je vhodné zahrnout i rezervní vstupy a výstupy.

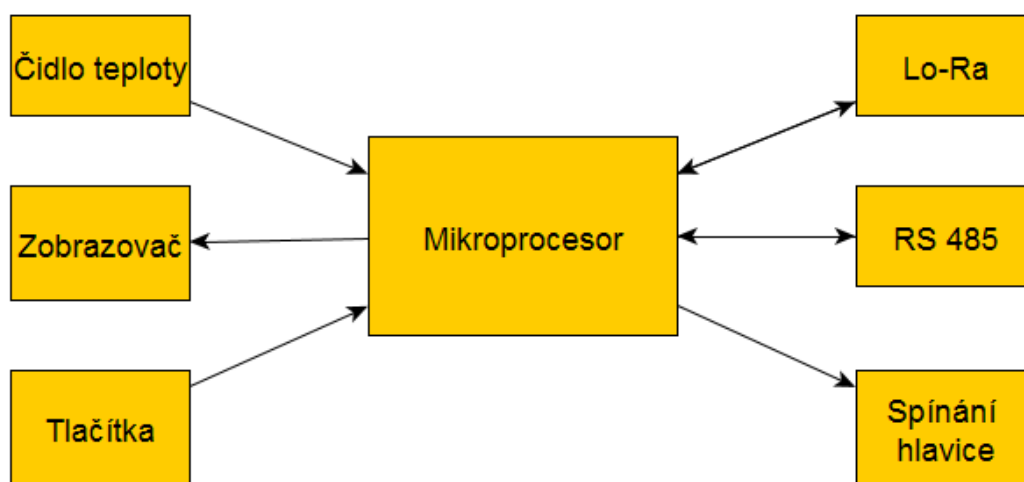
2.2 Jednotka pokojového termostatu

Pokojová jednotka termostatu slouží k měření teploty v místnosti a spínání elektricky ovládané hlavice. Dále umožňuje zobrazit pomocí vlastního displeje aktuální teplotu v místnosti, nastavenou teplotu, případně další volitelné údaje.

Pokojová jednotka obsahuje mikroprocesoru, který zajišťuje veškeré funkce a komunikuje s připojenými periferiemi. Čidlo měření teploty monitoruje vnitřní teplotu místnosti a odesílá jí do hlavní jednotky. Následně ji porovnává s požadovanou teplotou a dle toho zapíná nebo vypíná hlavici radiátoru. Nejprve ale musí porovnat, zda-li je toto potřeba. V situaci, kdy není v provozu oběhové čerpadlo, není potřeba uzavírat radiátory. Toto řešení taktéž prospěje životnosti ventilu, protože se pravidelně cykluje a nemůže tedy zatuhnout.

Pokojová jednotka umožňuje hybridní komunikaci, buď pomocí drátové sběrnice RS485, nebo pomocí bezdrátové technologie Lo-Ra. Pokud je to technicky možné, je vhodné přivést k pokojové jednotce kabel s napájením a komunikační sběrnicí. Ne vždy je toto technicky možné. Pokud probíhá instalace systému do hotové stavby, není snadno realizovatelné natažení společné sběrnice do všech místností. Pro tyto případy je možné desku plošných spojů osadit bezdrátovým modulem RFM95, který zprostředkovává Lo-Ra bezdrátovou komunikaci. V této situaci je potřebné přivést pouze napájení a připojit elektrickou hlavici.

Blokové schéma pokojové jednotky je na obrázku 2.3 a je zde připojen i malý displej, který umožní zobrazení informací. Jsou zde tlačítka, pomocí kterých má uživatel možnost dočasně změnit teplotu v místnosti.



Obrázek 2.3 Blokové schéma pokojové jednotky

2.3 Záložní zdroj

Záložní zdroj zálohuje napájení celého systému, zároveň plní funkci napájení řídicí jednotky nízkým napětím. Takový zdroj musí být dostatečně dimenzovaný pro zálohu čerpadel a v ideálním případě vybaven možností připojení externí baterie.

Z konstrukčního hlediska byl zvolen zdroj využívaný pro kancelářské použití. Tyto zdroje nejčastěji pracují nejčastěji s napětím 12 V, i 24 V u větších výstupních výkonů. Byl vybrán záložní zdroj typu offline, který má při přepnutí na zálohu prodlevu, což ovšem při tomto využití nevadí, výhodou tohoto zdroje je nižší spotřeba.

Tento zdroj obsahuje bezúdržbové olovněné akumulátory. výhodou tohoto řešení je bezpečnost z hlediska nenáročné až minimální údržby, nízké pořizovací ceny a jednoduché obsluhy.

3 VÝBĚR KOMPONENT

Tato kapitola se zabývá výběrem jednotlivých hlavních komponent pro realizaci systému. Také je vysvětlen důvod volby dané komponenty a případně proč nebyla zvolena jiná metoda.

Pro snížení počtu chyb na výsledné desce plošných spojů byl prvotní vývoj prováděn převážně na vývojových kitech s kompatibilními mikroprocesory a testovacích deskách nepájivého kontaktního pole. Následně po získání dostatečných poznatků bylo postoupeno k výrobě prototypů na deskách plošných spojů.

3.1 Mikroprocesor hlavní jednotky

Hlavní jednotka není vytížena z hlediska výpočetního výkonu. Musí obstarávat pouze základní početní operace, zobrazování na alfanumerickém displeji, odesílat a přijímat data.

Pro tento účel by dokonce vyhověl i osmibitový mikroprocesor. Problém ale je v nedostatku paměti. Do té je nutno umístit samostatné data pro jednotlivé termostaty, dostatečné buffery pro příjem a odesílání dat a samotný program. Při prvních testech bylo zjištěno, že je nutné se orientovat hlavně na mikroprocesory dostatečnou pamětí.

Následně byl zvolen mikroprocesor od výrobce STMicroelectronics, konkrétně 32 bitová architektura ARM. Užita je základní řada M0, přímo vývojový kit Nucleo64 s mikroprocesorem STM32F030R8 (obrázek 3.1).

Použití vývojového kitu v konečné aplikaci navíc umožňuje velmi snadnou výměnu za výkonnější typ v případě nedostatku paměti nebo výkonu. Pomocí univerzálního konektoru lze osadit velmi snadno rozšiřující moduly na vývojový kit.



Obrázek 3.1 Vývojový kit Nucleo 64

3.2 Mikroprocesor jednotky pokojového termostatu

Pro jednotku pokojového termostatu jsou požadavky ještě méně náročné. Pokojový termostat potřebuje být vybaven drátovou a bezdrátovou komunikační technologií, jednoduchým displejem a tlačítky. Toto zvládne zajistit téměř jakýkoliv mikroprocesor. Z hlediska výpočetního výkonu a paměti je náročný pouze proces komunikace.

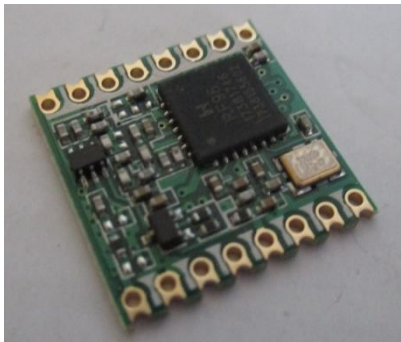
První experimenty byly směřovány k možnosti využití modulu ESP8266, což je Wi-Fi modul, který umožňuje část výkonu vlastního procesoru využít pro uživatelský program. Bohužel dosah sítě Wi-Fi se ukázal jako velmi nedostatečný v budovách se silnými zdmi nebo armovaným betonem. Proto byla zvolena jiná bezdrátová technologie s mnohem větší prostupností.

Hlavní jednotka již obsahuje mikroprocesor od STMicroelectronics, byl do pokojového termostatu zvolen mikroprocesor od stejného výrobce. Při porovnání na základě ceny vyšel nejlépe mikroprocesor STM32F030K6T6. Jedná se o mikroprocesor vybavený stejným jádrem jako mikroprocesor hlavní jednotky, ale disponuje menší pamětí a má i méně vstupních a výstupních pinů.

3.3 Komunikační modul Lo-Ra

Tento modul (obrázek 3.2) byl vybrán, protože jako jeden z mála umožňuje komunikovat pouze pomocí protokolu Lo-Ra. Toto je velmi výhodné, pokud vytváříme vlastní komunikační síť na bázi Lo-Ra. [4]

Ostatní moduly jsou zaměřené na Lo-Ra WAN, což umožňuje moduly použít k připojení do sítě Internet. Tato služba je zpoplatněna ročním poplatkem za každý připojený modul. U systému s hlavní jednotkou a několika připojenými periferiemi toto řešení tedy postrádá smysl.

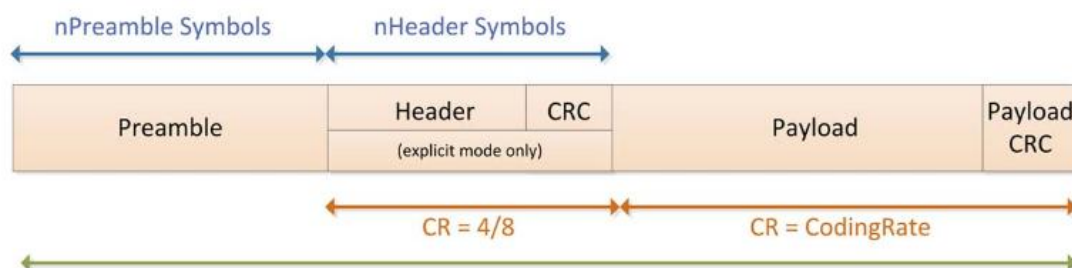


Obrázek 3.2 Modul RFM-95

Na obrázku 3.3 je znázorněna struktura Lo-Ra paketu. Skládá se z několika preamble symbolů, které slouží k synchronizaci příchozího signálu mezi vysílačem a přijímačem. Základní délka tohoto úseku je 12 symbolů. Tuto hodnotu lze prodloužit programově.

Dále obsahuje hlavičku, u které umožňuje dva typy. V základu je zvolen explicitní mód hlavičky, který obsahuje informace o přenesených datech, payload. Obsahuje

informaci o délce v bytech, dále obsahuje dopřednou korekci chyby FEC a šestnáctibitový cyklický redundantní součet CRC s maximální hodnotou opravy chyb. Nakonec následují data a jejich kontrolní součet.



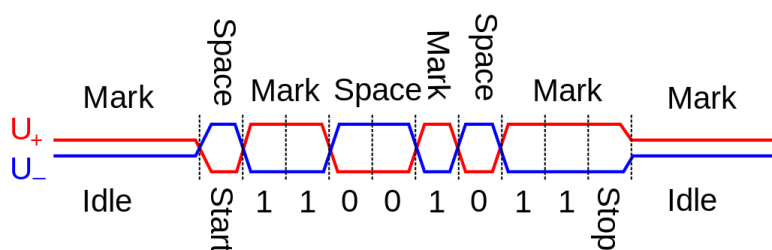
Obrázek 3.3 Struktura Lo-Ra paketu [4]

Při experimentálním testování se tento modul projevil velmi výhodně. Bez připojených antén měl podobný dosah v budově jako modul ESP8266 vybavený technologií Wi-Fi. S připojenou drátovou anténou, která byla vyrobena z vodiče o délce poloviny vlnové délky byla komunikace spolehlivá po celém objektu i mimo něj.

3.4 Komunikace pomocí RS 485

Sběrnice RS 485 je velmi používaná v průmyslu. Umožňuje komunikaci na dlouhé vzdálenosti pouze po dvou vodičích. Na tuto sběrnici je možné připojit až 32 zařízení.

Na obrázku 3.4 je znázorněna komunikace po symetrické sběrnici RS 485. Sběrnice dosahuje dvou stavů, kdy přenášená úroveň log.1 je definována jako rozdíl vodiče U_+ a U_- větší jak -200 mV. Naopak přenos úrovně log.0 je definován jako rozdíl U_+ a U_- větší jak 200 mV.[5]



Obrázek 3.4 Průběh komunikace RS 485 [5]

Koncové stanice sběrnice RS485 musí být vybaveny zakončovacím odporem o hodnotě 120 ohm. Sběrnici je vhodné provést párem kroucených vodičů. K tomuto lze s výhodou použít kabel pro rozvody lokálních datových sítí, který obsahuje čtyři páry takto uzpůsobených linek.

3.5 Čidla měření teploty

K měření teploty byla zvolena čidla DS18B20, která jsou hojně rozšířena a lze je sehnat v mnoha provedeních od klasické běžné součástky po zapouzdřenou verzi určenou k montáži do nepříznivých podmínek. Pro experimenty byla zakoupena čidla se zvýšenou odolností proti vodě. (obrázek 3.5)

Tato čidla komunikují po sběrnici OneWire, která umožňuje přenos dat po jednom vodiči, nebo dokonce po jednom a tom samém vodiči čidlo napájet. Napájení probíhá při klidovém stavu na lince, kdy je na lince vysoká úroveň. [6]



Obrázek 3.5 Čidlo DS18B20 ve voděodolném provedení

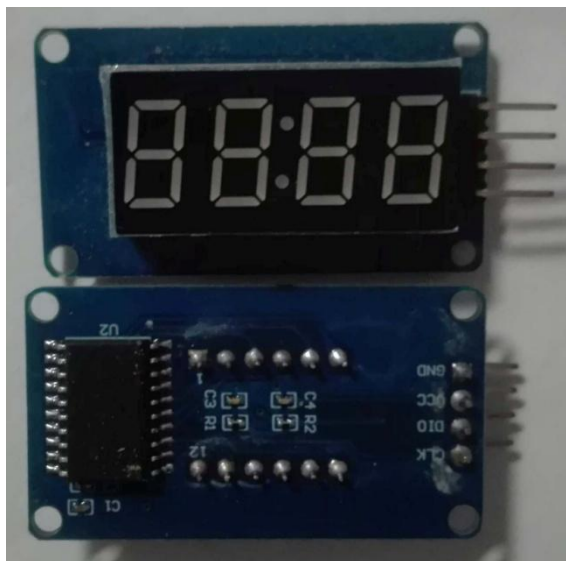
Dále toto čidlo umožňuje uložit do vnitřní paměti dva bajty informací. Tohoto bylo při tvorbě pokojového termostatu výhodně využito. V čidle se ukládá nastavený parametr identifikačního čísla pokojového termostatu a nastavená teplota pro regulaci.

3.6 Zobrazovací jednotky

Pro zobrazování hodnot bylo nutné najít správné displeje, které budou zobrazovat informace pro uživatele a bude možné pomocí nich nastavit parametry. U pokojového termostatu je navíc nutno brát v potaz cenu z důvodu výroby vícero kusů.

V případě pokojového termostatu byla volba mezi sedmisegmentovým displejem a grafickým LED displejem. Grafický displej by umožnil snadnější zobrazení údajů a symbolů, ale pokud zobrazuje stále ten samý údaj, dochází k rychlé degradaci světelných pixelů.

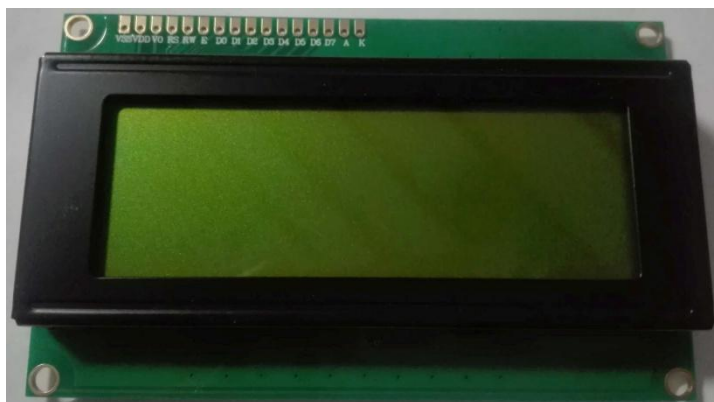
Byl tedy vybrán sedmisegmentový displej, který degradaci příliš netrpí. Problém u tohoto typu displeje je ovšem s řízením. Naštěstí existuje snadno sehnatelný modul sedmisegmentového displeje, který obsahuje přímo řadič TM1637 [7] zobrazený na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6 Sedmisegmentový displej s řadičem TM1637

Tento modul komunikuje pomocí jednoduché sériové sběrnice s jedním hodinovým signálem a jedním obousměrným datovým signálem. Komunikace je nutná pro zapsání hodnot, poté již displej zobrazuje zapsanou hodnotu až do další aktualizace.

Na zobrazovači hlavní jednotky je potřeba zobrazit pouze údaje o teplotách a stavu. Tyto údaje jsou textové a proto byl zvolen alfanumerický LCD displej 4x 20 znaků s podsvícením (obrázek 3.7), který je řízen obvodem na bázi HD44780 [8].



Obrázek 3.7 Alfa numerický displej 4x20 znaků

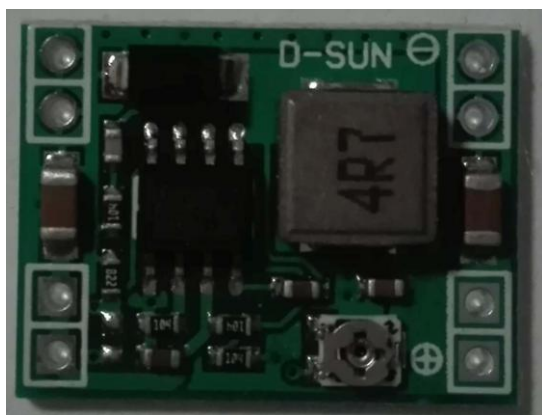
Zvolený displej má čtyři řádky a každý řádek má dvacet znaků. Je vhodné použít displej s napájecím napětím 3,3 V, z důvodu kompatibility datových linek s napětovými úrovněmi mikroprocesoru. Vzhledem k ceně a dostupnosti displejů na 3,3 V byl zvolen displej s napájením 5 V a byl užit převodník logických úrovní.

3.7 Napájecí zdroj

Řídící mikroprocesory pracují s napájecím napětím 3,3 V. Toto napětí nelze přenášet na velké vzdálenosti díky odporu vedení. Pro rozvod napájení je třeba zvolit napětí vyšší. V tomto případě alespoň 12 V, lépe 24 V.

K snížení napětí na úroveň vhodnou k napájení mikroprocesoru lze použít dva způsoby. Prvním je lineární stabilizátor. Tento stabilizátor rozdíl napětí převádí na tepelnou ztrátu. Toto je výhodné pouze při malých odběrech proudu, né pokud je v zařízení potřeba napájet displej a bezdrátový modul, který při vysílání odebírá stovky miliampér. Druhou metodou je impulzní snižující měnič, který využívá k snížení napětí akumulaci energie v indukčnosti. Výhodou je dobrá účinnost, nevýhodou je vznik rušení.

Z důvodu většího výběru obvodů bylo vstupní napětí zvoleno na maximálně 24 V. Při hledání vhodného řídicího obvodu měniče byl nalezen přímo modul (obrázek 3.8) obsahující řídicí obvod jednočipového měniče MP1584 [9] a všechny potřebné komponenty pro funkci měniče.



Obrázek 3.8 Měnič s obvodem MP1584

Cena tohoto kompletního sestaveného modulu dosahuje stejné ceny, jako samostatný řídicí obvod MP1584, pokud jej koupíme samostatně. Z tohoto důvodu byly použity hotové měniče osazené do DPS. Vstupní napájení až 28V plně splňuje požadavky.

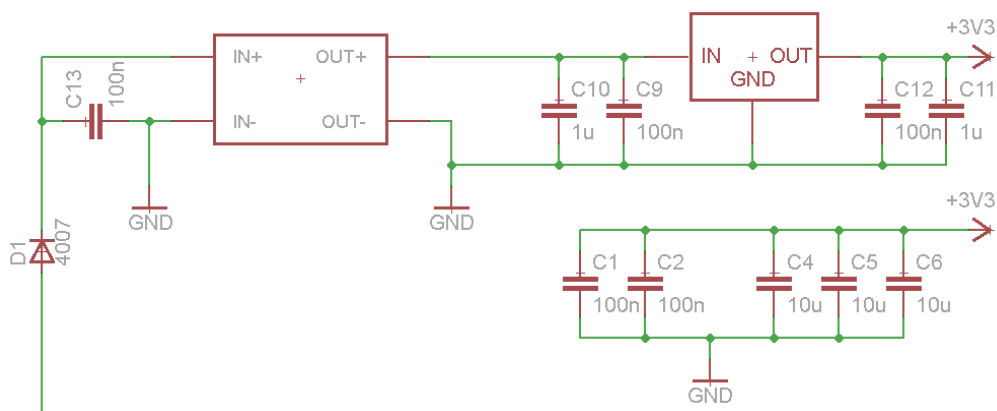
4 NÁVRH SCHÉMATU A PLOŠNÝCH SPOJŮ

V této části bude popsán návrh schématu a plošných spojů řídicí jednotky a pokojového termostatu. Při návrhu schématu i plošných spojů bylo bráno v potaz snadné mechanické řešení a zabudování. U řídicí jednotky je montáž plánována do univerzální prachotěsné elektroinstalační krabice. Pokojový termostat je třeba umístit do vhodné instalační krabičky, která není zakázkové výroby. Schémata i desky plošných spojů byly vytvořeny v programu Eagle 7.2.

4.1 Napájení pokojového termostatu

Schéma napájecí části obsahuje na vstupu diodu D1, která zabraňuje poškození při přepólování napájecího napětí, dále je zde umístěn kondenzátor C13, který filtruje případné vysokofrekvenční rušení. Následuje modul zdroje s MP1584. U tohoto modulu je vhodné trimr nastavení výstupního napětí nahradit rezistorem tak, aby výstupní napětí bylo přibližně 4,5V.

Z výstupu modulu měniče je napájen lineární stabilizátor AP2125 [10]. Jedná se o stabilizátor 3,3 V a 300 mA. Tento obvod je dle katalogového listu doplněn o doporučené kondenzátory C10 a C11. Dále byly doplněny kondenzátory C9 a C12 pro dodatečnou filtraci případného vysokofrekvenčního rušení.



Obrázek 4.1 Napájecí část pokojového termostatu

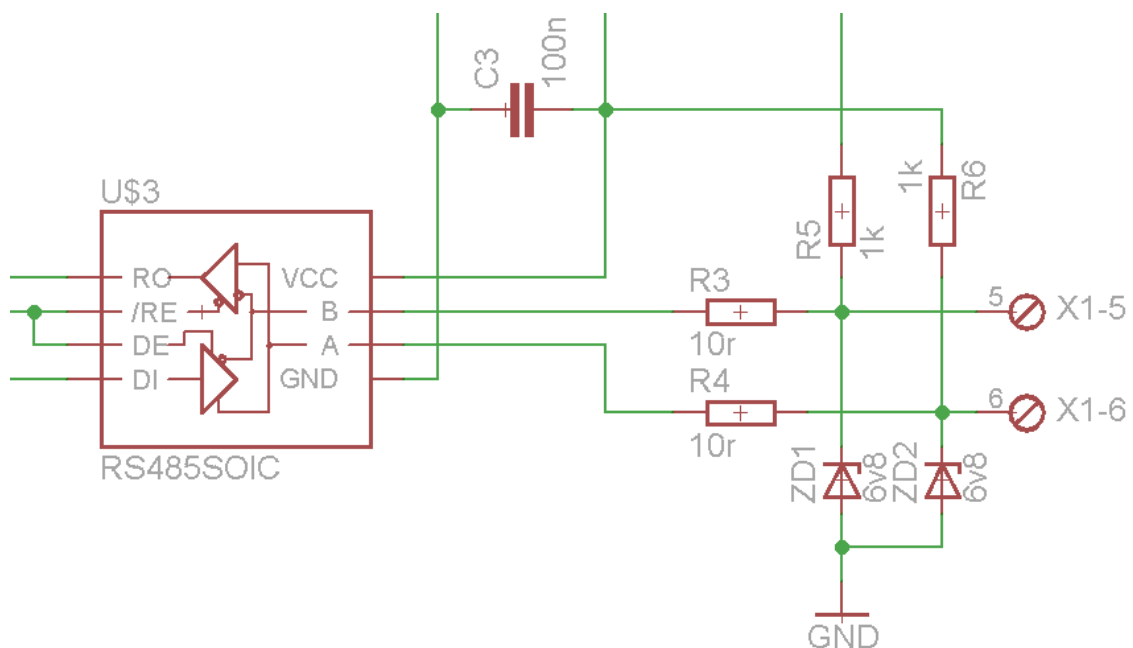
Na větvi 3,3 V jsou dále umístěny kondenzátory C1, C2, C4, C5, C6. Tyto kondenzátory slouží k blokování napájení mikroprocesoru a vychází z doporučení výrobce uvedených v datasheetu obvodu STM32F030 [11].

4.2 Napájení hlavní jednotky

Jelikož v řídicí jednotce je použit vývojový kit Nucleo64, tak je na něm již osazena část napájecího zdroje pro mikroprocesor. V katalogovém listu [12] je uvedeno, že napájecí zdroj je možné přivést na svorku Vin a může být v rozsahu 7-12 V. Je zde použit lineární stabilizátor na 5 V. Toto napětí je k dispozici pro případné periferie stejně jako napětí 3,3 V, které rovněž obstarává stabilizátor integrovaný na vývojové desce Nucleo64. Z tohoto důvodu je osazen jen impulzní zdroj s MP1584. Výstupní napětí měniče je nastaveno na 7,5 V z důvodu nižších ztrát na stabilizátoru vývojové desky Nucleo64.

4.3 Sběrnice RS485

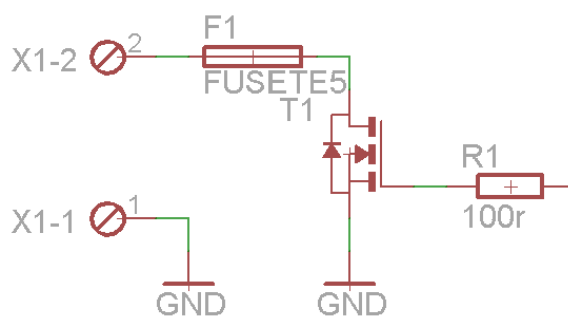
Komunikaci po sběrnici RS485 obstarává obvod od STMicroelectronics ST3485 [13]. Tento obvod byl doplněn o filtrační kondenzátor C3, ochranné rezistory R3 a R4. Tyto rezistory chrání výstupy obvodu. Dále zde jsou rezistory R5 a R6, které se starají o definici úrovní na lince. Poslední součásti obvodu jsou ochranné diody ZD1 a ZD2. Tyto diody chrání obvod proti napěťovým špičkám.



Obrázek 4.2 Zapojení obvodu sběrnice RS 485

4.4 Ovládání termoelektrické hlavice

Existují dva typy termoelektrických hlavice. První typ hlavice se po přivedení napájecího napětí ohřeje a vosková patrona mechanismu ventilu začne tlakem působit na uzávěr a otevře kohout radiátoru. Druhý typ naopak ventil radiátoru uzavře. Pro tento systém byl zvolen typ, který se přivedením napětí uzavírá z důvodu snadného odstavení systému s možností zachování funkčnosti vytápění. Část schématu obsahující spínání termoelektrické hlavice je na obrázku 4.3.



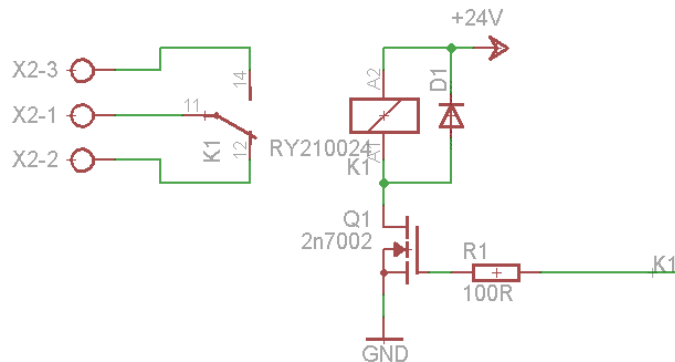
Obrázek 4.3 Obvod ovládání termoelektrické hlavice

Pro spínání hlavice byl zvolen unipolární tranzistor YJM04N10A, tento tranzistor zvládne spínat proud až 3,2 A, což je velmi předimenzované vůči požadovanému proudu hlavice přibližně 0,2 A, zvolen byl z důvodu snadné dostupnosti v součástkové základně autora.

Dále je v obvodu přítomen rezistor R1, tento rezistor snižuje proud při nabíjení a vybíjení kapacity Gate tranzistoru. Pro případ selhání hlavice vlivem zkratu v systému je v obvodu zařazena polovodičová pojistka F1. Tato pojistka se aktivuje při proudu vyšším jak 0,5 A. Toto rozpojení setrvá až do odstranění zkratu. Pokud by zde tato pojistka nebyla, v případě selhání hlavice dojde k poruše celého systému vlivem ztráty napájení. Následně přestane pracovat mikroprocesor, termohlavice se tedy odpojí od napájení a napájecí napětí se obnoví. Toto by vedlo k cyklickému restartu všech zařízení napájených ze stejného zdroje.

4.5 Reléový výstup hlavní jednotky

Na obrázku 4.4 můžeme vidět schéma zapojení prvního reléového výstupu označeného K1 dle označení relé. Je zde zvoleno relé RY210024 [14]. Jedná se o relé s napájecím napětím ovládací cívky 24 V a jedním přepínacím kontaktem s možností zatížení proudem až 8 A při střídavém napětí 250 V.



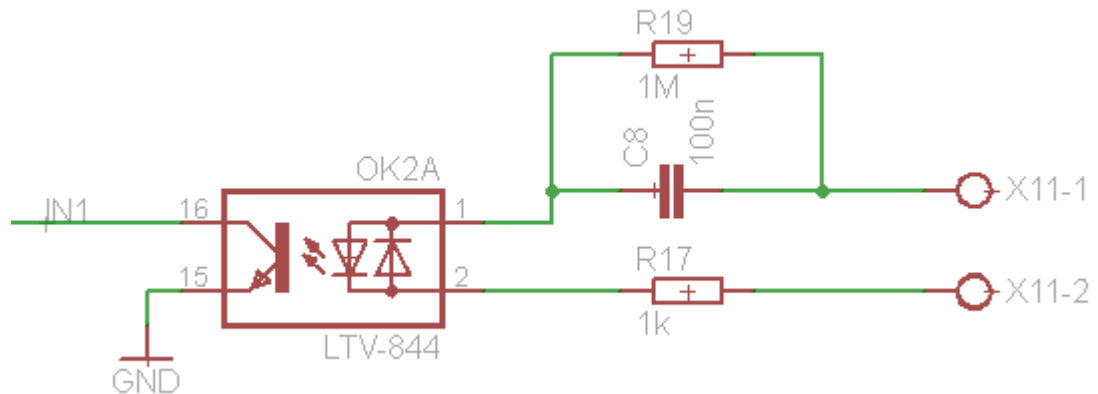
Obrázek 4.4 Obvod reléového výstupu

Toto relé spíná unipolární tranzistor 2N7002 [15] a je blokováno zhášecí diodou D1 1N4148 [16] v pouzdru minimelf pro povrchovou montáž. Proud nabíjení a vybíjení kapacity Gate tranzistoru Q1 je omezen rezistorem R1.

Relé splňuje svou elektrickou pevností mezi cívkou a kontakty 5 kV požadavek na bezpečné oddělení síťového napětí od obvodů ovládání. Přepínací kontakt každého relé je vyveden na vlastní šroubové svorky X2-X9.

4.6 Optický vstup hlavní jednotky

Optický vstup hlavní jednotky je znázorněn na obrázku 4.5. Jedná se o vstup podporující připojení střídavého síťového napětí 230 V. Snížení jeho velikosti je provedeno předřadným kondenzátorem.



Obrázek 4.5 Obvod optického vstupu

Protože se jedná o střídavé napětí a bylo by nutné jej usměrnit, byl zvolen z důvodu snížení počtu součástek čtyřnásobný optočlen LTV-844 [17] s antiparalelními světelnými diodami. Toto řešení umožní vynechat usměrňovač. Součástky obvodu byly vypočteny pomocí online kalkulačky pro žárovku tvořenou svítivými diodami ze stránek danyk.cz [18]. Získané parametry byly poté použity k volbě komponent, pouze rezistor R17 byl zvolen s hodnotou součtu rezistorů R1 a R2 z výsledku výpočtu.

Výstupní tranzistor je připojen poté přímo k vstupu mikroprocesoru prostřednictvím spoje IN1 až IN4. Pull-up rezistor není v zapojení užit a využívá se možnosti softwarově zapnout rezistor integrovaný v mikroprocesoru.

Toto řešení optického vstupu bohužel převede frekvenci vstupního síťového napětí na vstupu na výstup optočlenu v podobě dvojnásobné frekvence spínání výstupu. Tento problém je nutné vyřešit softwarově.

4.7 Návrh DPS jednotky pokojového termostatu

DPS jednotky pokojového termostatu byla navržena do snadno dostupné instalační krabice LK80 znázorněné na obrázku 4.6. Tato krabice je určena pro povrchovou montáž zásuvek a vypínačů, případně ji lze osadit víčkem. Toto víčko je užito jako kryt a je v něm vyříznut otvor pro displej a tlačítka.



Obrázek 4.6 Instalační krabice LK80

Nejprve byl v programu Eagle zakreslen vnitřní obrys elektroinstalační krabice. Posléze byly vyznačeny otvory potřebné pro upevnění desky pomocí šroubů do krabice. Následně byl usazen displej a tlačítka. Toto bylo nutné z důvodu výsledného vzhledu.

Důležité bylo správně změřit a zakreslit modul displeje [19]. Tyto displeje jsou vyráběny v několika rozměrech. Proto bylo nutné vyrobit zcela novou knihovnu součástky.

Následně byly umístěny ostatní součástky a provedeno zapojení. Při návrhu byl kladen důraz na snadnou výrobu v domácích podmínkách z důvodu výroby prototypu. Proto je DPS vytvořena jako jednovrstvá. Použití jednovrstvé DPS si vyžádalo užít dvě drátové propojky a jeden vývodový rezistor.

Na desce se nachází dva konektory, první konektor je pinová lišta a slouží k naprogramování mikroprocesoru přímo v zapojení, druhý konektor je určen pro připojení napájení, sběrnice RS485 a termoelektrické hlavice radiátoru. Podrobnějšímu popisu se věnuje šestá kapitola.

4.8 Návrh DPS Hlavní jednotky

Při návrhu desky plošných spojů hlavní jednotky nebylo nutné navrhovat do předem daných rozměrů. Podle výsledné desky se vybere vhodná instalační krabice pro montáž. Rozměr hlavní desky určuje řada šroubových svorek vstupních a výstupních rozhraní hlavní jednotky.

Část hlavní jednotky určená pro práci se síťovým napětím je orientována v dolní části desky plošných spojů a je zde vytvořená velká bezpečnostní izolační mezera. Je velmi důležité, aby při výrobě zde nebyla vytvořena plocha rozlité mědi, proto je zde ručně zakreslena vyhrazená oblast.

Konektory pro připojení čidel a vodičů, pracujících s bezpečným napětím jsou umístěny výše. Při montáži je předpokládáno užití elektroinstalační krabice a jejím rozdělení na oblast bezpečného napětí a oblast síťového napětí. Bližšímu vysvětlení konektorů na DPS se věnuje šestá kapitola.

Deska plošných spojů hlavní jednotky byla vyrobena opět tak, aby bylo možné ji vyrobit prototypově v domácích podmínkách. Zde již jsou jemnější spoje a může nastat problém s výrobou. I přesto se v domácích podmínkách podařilo DPS vyrobit. Z tohoto důvodu jsou zde opět přítomny vývodové rezistory a jedna drátová propojka. Celá DPS je koncipována jako modul s napájením pro vývojový kit Nucleo64.

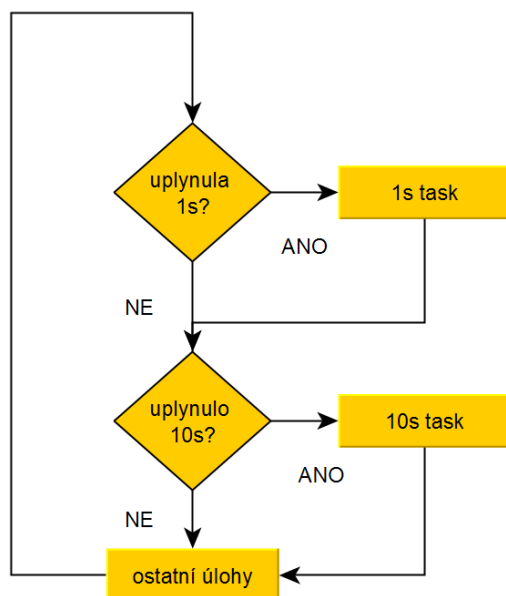
5 NÁVRH SOFTWAREOVÉHO VYBAVENÍ

Návrh softwaru pro mikroprocesory byl proveden ve vývojovém prostředí STM32CubeIDE. Toto vývojové prostředí poskytuje zdarma k užití výrobce mikroprocesoru STMicroelectronics. Při programování bylo čerpáno z knihy "Programovací jazyk C" [20].

V následujících podkapitolách je popsán software obou mikroprocesorů. Výsledný kód je obohacen komentáři pro lepší vysvětlení funkce a zdůvodnění.

5.1 Software jednotky pokojového termostatu

Nejprve byl vyvíjen software jednotky pokojového termostatu. Jako základ byl zvolen jednoduchý správce úloh pomocí neblokujícího časovače a dotazování se, zdali již uplynul čas. Testují se dva časy, první na uplynutí jedné sekundy a druhý na uplynutí deset sekund, viz obrázek 5.1.



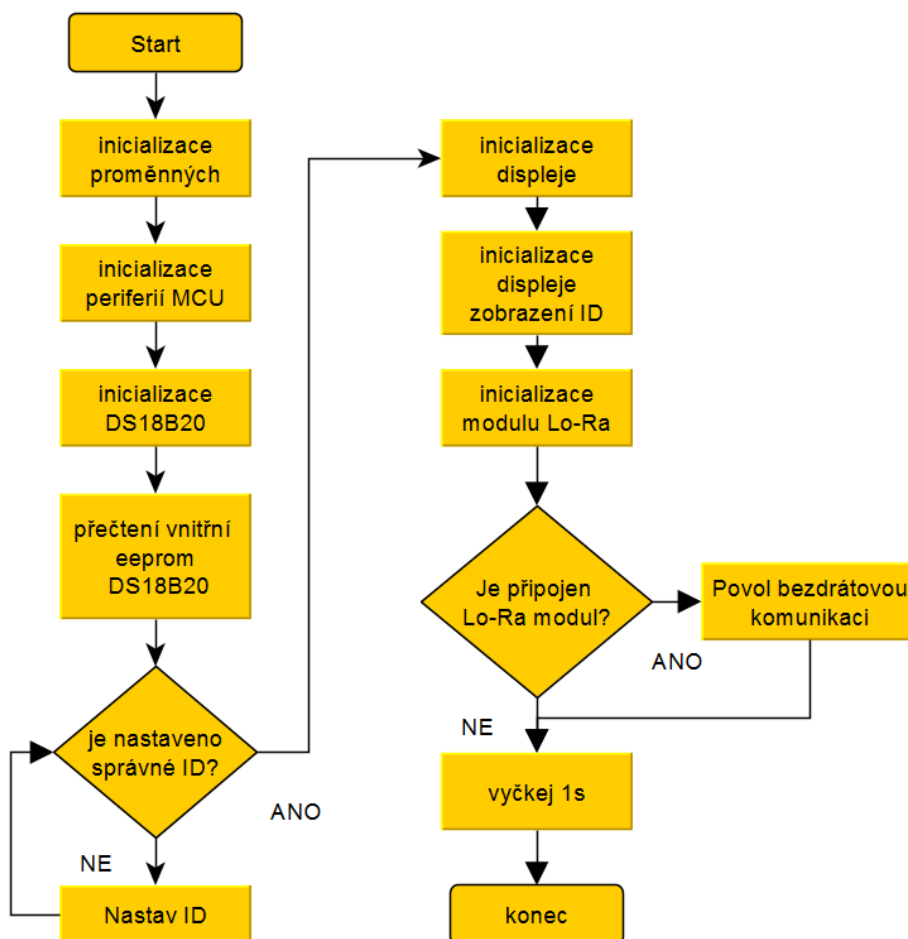
Obrázek 5.1 Zkrácený vývojový diagram hlavní smyčky pokojového termostatu

5.1.1 Start softwaru a konfigurace periferií

Začátek vývoje softwaru začíná konfigurací periferií. Všechny periferie jsou konfigurovány částí vývojového prostředí, CubeMX. Konfigurace komunikace po RS485 je nastavena na 9600 bitů za sekundu a je povolena HW kontrola směru pro RS485. Dále je nastaven první DMA na třetí kanál pro příjem. U sběrnice SPI je nastaven typ na plně duplexní v režimu osmi bitů s rychlostí 187,5 kilobitu za sekundu. Není povoleno hardwarové řízení signálu slave select. U SPI sběrnice není povoleno žádné DMA a vše se obstarává softwarově.

Dále v CubeMX jsou konfigurovány dva časovače. První časovač Tim1 je nastaven pro přičítání po jedné mikrosekundě. Tento časovač slouží pro obsluhu funkce čekání určitý počet mikrosekund. Jako druhý je aktivován časovač Tim14, jenž generuje přerušení každou jednu milisekundu.

Na začátku samotného programu se provádí inicializace periferií a proměnných. Nejlépe vše vystihuje vývojový diagram na obrázku 5.2 uvedeném níže.

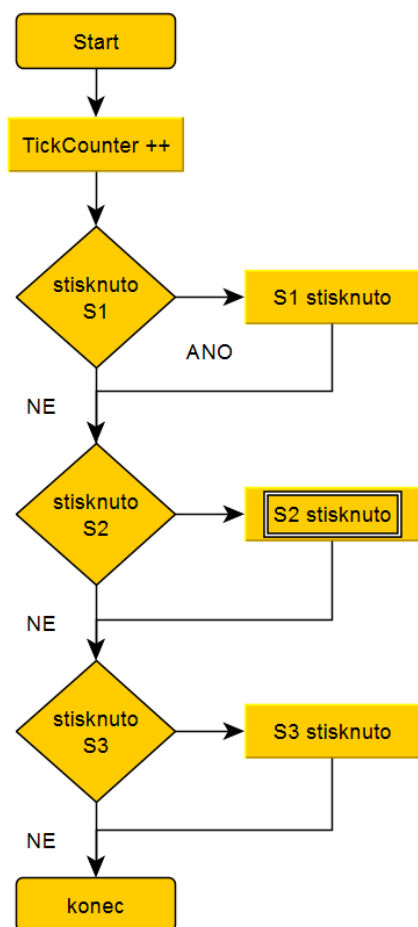


Obrázek 5.2 Vývojový diagram začátku programu pokojové jednotky

5.1.2 Obsluha přerušení časovačů pokojového termostatu

V pokojovém termostatu jsou konfigurovány dva časovače. První časovač Tim1 inkrementuje svůj čítací registr každou mikrosekundu a slouží pro obsluhu funkce blokujícího čekání. Toto čekání využívají knihovny pro obsluhu čidla DS18B20 a obsluhu displeje.

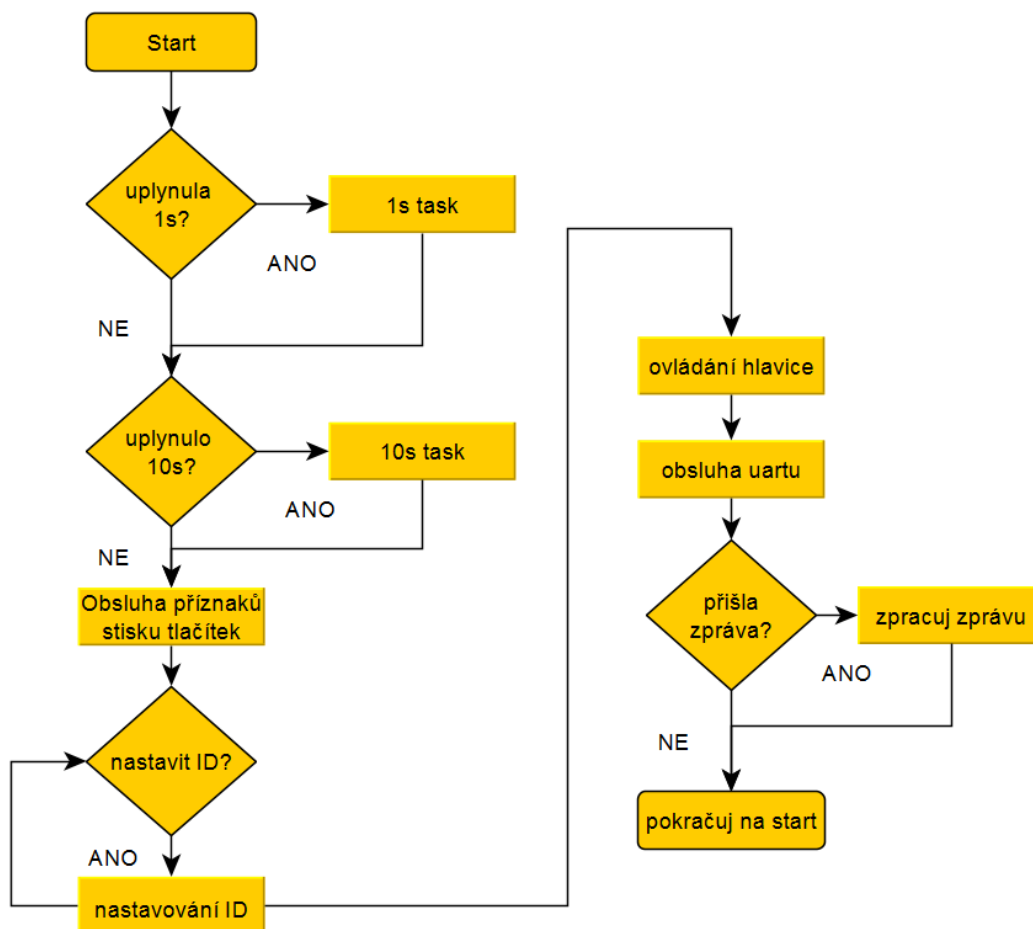
Druhý časovač Tim14 je nakonfigurován pro generování přerušení každou milisekundu. V tomto přerušení se vykonává inkrementace proměnné pro obsluhu měření času úloh a detekce stisku tlačítek, viz vývojový diagram na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 Vývojový diagram přerušení Tim14

5.1.3 Obsluha hlavní smyčky pokojového termostatu

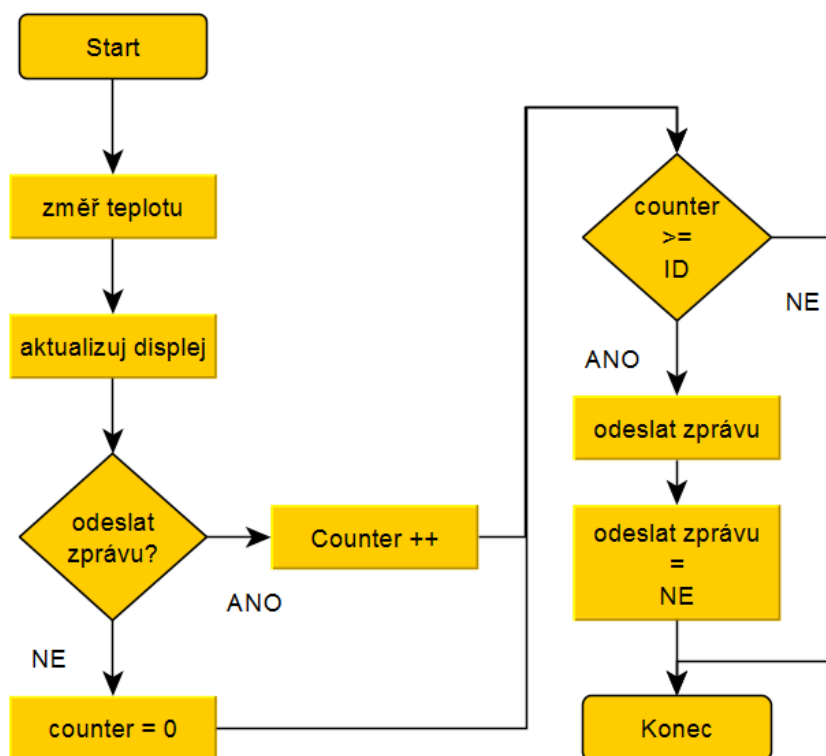
Hlavní smyčka obsahuje obsluhu většiny funkcí. Software termostatu je nenáročný a obsahuje dvě pravidelně vykonávané události a několik událostí, které se vykonávají kdykoliv je to možné. Vývojový diagram hlavní smyčky je na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4 Vývojový diagram hlavní smyčky pokojového termostatu

Celý cyklus začíná detekcí uplynutí jedné sekundy. Pokud uplyne, obslouží se funkce znázorněné na vývojovém diagramu na obrázku 5.5. Jako první se měří teplota. Toto se sestává z vyčtení hodnot čidla DS18B20 a následném odeslání příkazu k dalšímu měření. Toto je nutné z důvodu konverze teploty, která trvá přibližně 750 ms. Následně se aktualizuje zobrazení na displeji.

Dále se zkontroluje, zda-li je požadavek na odeslání zprávy. Pokud ne, vynuluje se proměnná pro čítání času v sekundách. Pokud ovšem zpráva má být odeslána, hodnota proměnné se inkrementuje. Pokud hodnota proměnné dosáhne nebo přesáhne hodnotu identifikačního čísla pokojové jednotky, odešle se zpráva do hlavní jednotky. Poté se příznak pro odeslání zneplatní. Toto řešení umožní, že v jeden okamžik bude vysílat jen jedna pokojová jednotka. Příznak odeslání nastavuje hlavní jednotka a odesílá ho pomocí zprávy určené pro všechny pokojové jednotky.



Obrázek 5.5 Vývojový diagram úlohy 1s task pokojového termostatu

Po detekci uplynutí jedné sekundy se detekuje uplynutí deseti sekund. V obsluze detekce uplynutí deseti vteřin je vytvořen čítač do třiceti. Spolu s tímto čítačem se vytvoří interval pěti minut. Tento interval tvoří periodu regulace. Každých pět minut se porovná aktuální a nastavená teplota a dle toho se nastaví příznak požadavku na vytápění. Tento časový úsek byl zvolen experimentálně s ohledem na dobu změny stavu ventilu přibližně dvě minuty.

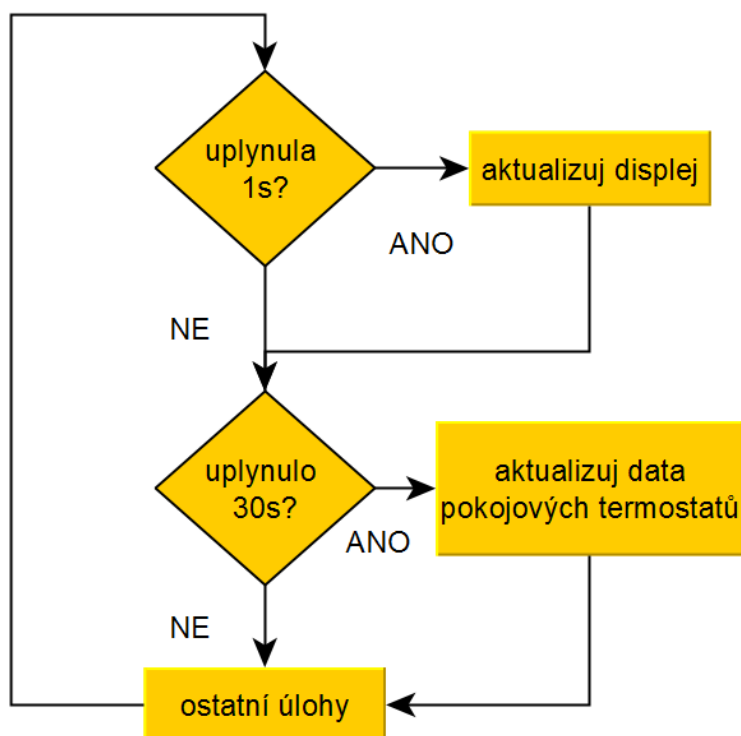
Následuje obsluha příznaků stisknutých tlačítek. V přerušení generovaném časovačem Tim14 se nastavují příznaky stisknutí tlačítka, ale jejich vykonání již obsluhuje hlavní smyčka. Po obsloužení příznaků se příznaky nulují. Prostřední tlačítko S2 slouží k změně ID termostatu. Pokud je stisknuto, přistoupí se k změně ID. Změna ID je tvořena blokujícím cyklem, kde se detekuje pouze příznak stisknutí tlačítka a podle nich se ID zvýší nebo sníží. Případně při opětovném stisku prostředního tlačítka se tento cyklus ukončí. Blokující cyklus je zde proto, protože při nastavování ID není potřeba další činnosti termostatu. Hodnota ID se zároveň zobrazuje na displeji.

Další částí hlavní smyčky je ovládání hlavice. Tato část porovná zdali je potřeba hlavici otevřít nebo zavřít a zároveň její uzavření umožní pouze pokud je v činnosti oběhové čerpadlo. Pokud čerpadlo neběží, není třeba napájet termoelektrickou hlavici pro uzavření ventilu.

Následuje už jen obsluha uartu, kdy se testuje přijetí znaku pomocí DMA, případně pokud přišla validní zpráva, zpracuje se. Poté se testuje zda-li přišla zpráva případně pomocí bezdrátové technologie Lo-Ra a případně se také zpracuje.

5.2 Software hlavní jednotky

Po vytvoření a odzkoušení softwaru pro pokojovou jednotku byl vytvořen software pro hlavní jednotku. Hlavní jednotka má mnohem složitější software včetně vytváření databáze až třiceti pokojových termostatů. Opět je řízen pomocí jednoduchého správce úloh, tentokrát s čekáním po jedné sekundě a třiceti sekundách. (obr 5.6)



Obrázek 5.6 Zkrácený vývojový diagram hlavní smyčky hlavní jednotky

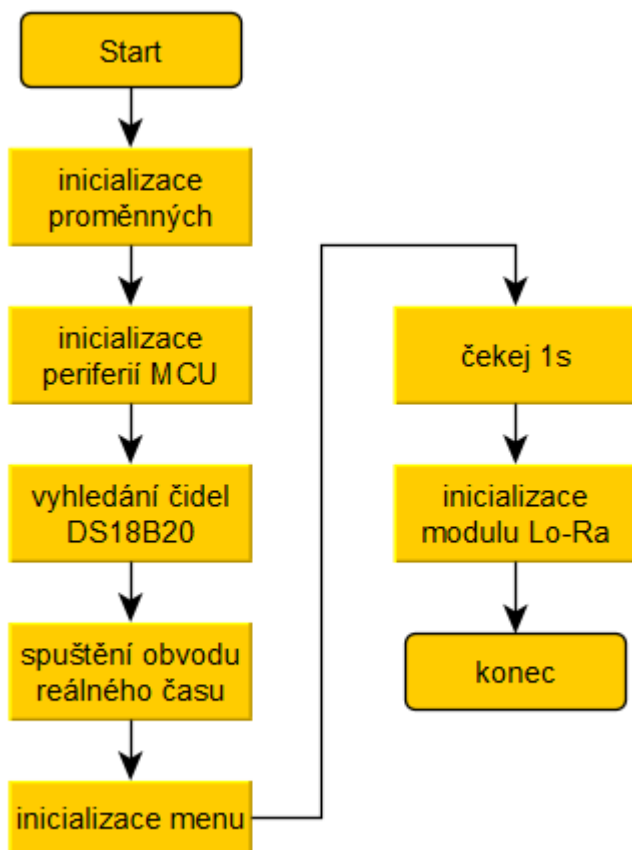
Hlavní jednotka již obsahuje složitější zobrazení na displeji, které obsluhuje knihovna pro tvorbu menu. Volá se tedy každou jednu sekundu požadavek na aktualizaci menu. Každých třicet sekund se odesílají data do termostatů a taktéž se vyšle požadavek na zaslání hodnot. Aktualizace dat se provádí střídavě jednou pomocí bezdrátového spojení a poté pomocí drátové sběrnice.

5.2.1 Start softwaru a konfigurace periferií

Všechny periferie jsou konfigurovány částí vývojového prostředí, CubeMX. Konfigurace komunikace po RS485 je nastavena na 9600 bitů za sekundu a je povolena hardwarová kontrola směru pro RS485. Dále je nastaven první DMA na třetí kanál pro příjem. Sběrnice RS485 obsazuje periferii uart1. Sériová linka uart2 je využita pro komunikaci s řídicím počítačem. Obsahuje stejnou konfiguraci jako uart1 vyjma zapnutí hardwarové kontroly pro RS485 a využívá pátý kanál u DMA1 pro příjem dat. U sběrnice SPI je nastaven typ na plně duplexní v režimu osmi bitů s rychlostí 375 kilobitu za sekundu. Není povoleno hardwarové řízení signálu slave select. U SPI sběrnice není povoleno žádné DMA a vše se obstarává softwarově.

Dále v CubeMX jsou konfigurovány dva časovače. První časovač Tim1 je nastaven pro přičítání po jedné mikrosekundě. Tento časovač slouží pro obsluhu funkce čekání určitý počet mikrosekund. Jako druhý je aktivován časovač Tim14, jenž generuje přerušení každou jednu milisekundu.

Na začátku samotného programu se provádí inicializace periférií a proměnných. Nejlépe vše vystihuje vývojový diagram na obrázku 5.7 který je uveden níže.



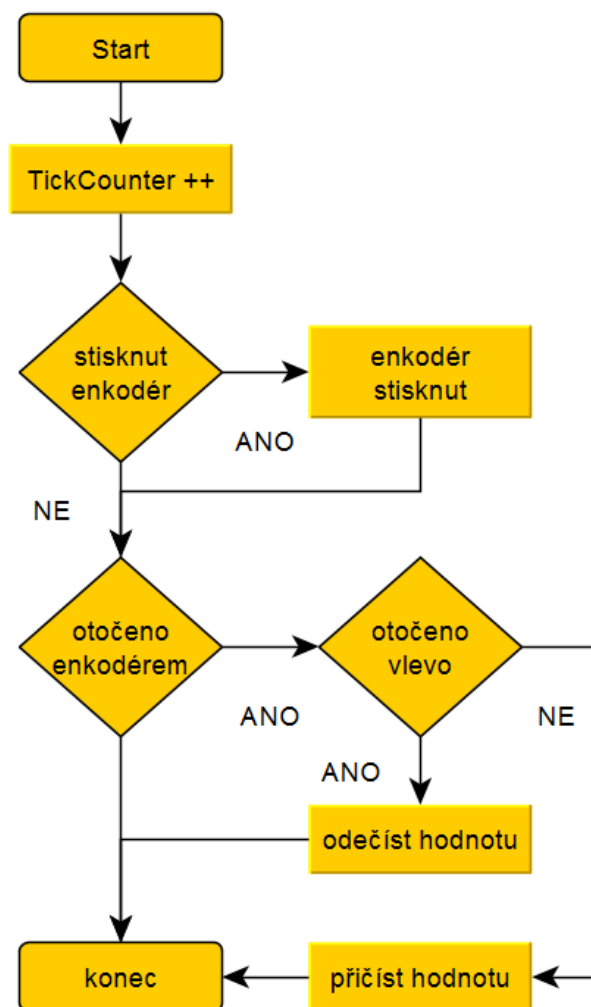
Obrázek 5.7 Vývojový diagram začátku programu hlavní jednotky

Po inicializaci proměnných a periférií mikroprocesoru se přejde k vyhledávání čidel DS18B20. K hlavní jednotce jsou připojena čtyři čidla monitorující teplotu topného systému a venkovní teplotu. Dále se spustí obvod reálného času pro řízení chodu změny nočního a denního režimu teplot a aktualizaci o půlnoci. Poté se pouze spustí inicializace menu, vyčká jednu sekundu a inicializuje se bezdrátový modul.

5.2.2 Obsluha přerušení časovačů hlavní jednotky

V hlavní jednotce jsou konfigurovány dva časovače. První časovač Tim1 inkrementuje svůj čítací registr každou mikrosekundu a slouží pro obsluhu funkce blokujícího čekání. Toto čekání využívají knihovny pro obsluhu čidel DS18B20 a obsluhu LCD displeje.

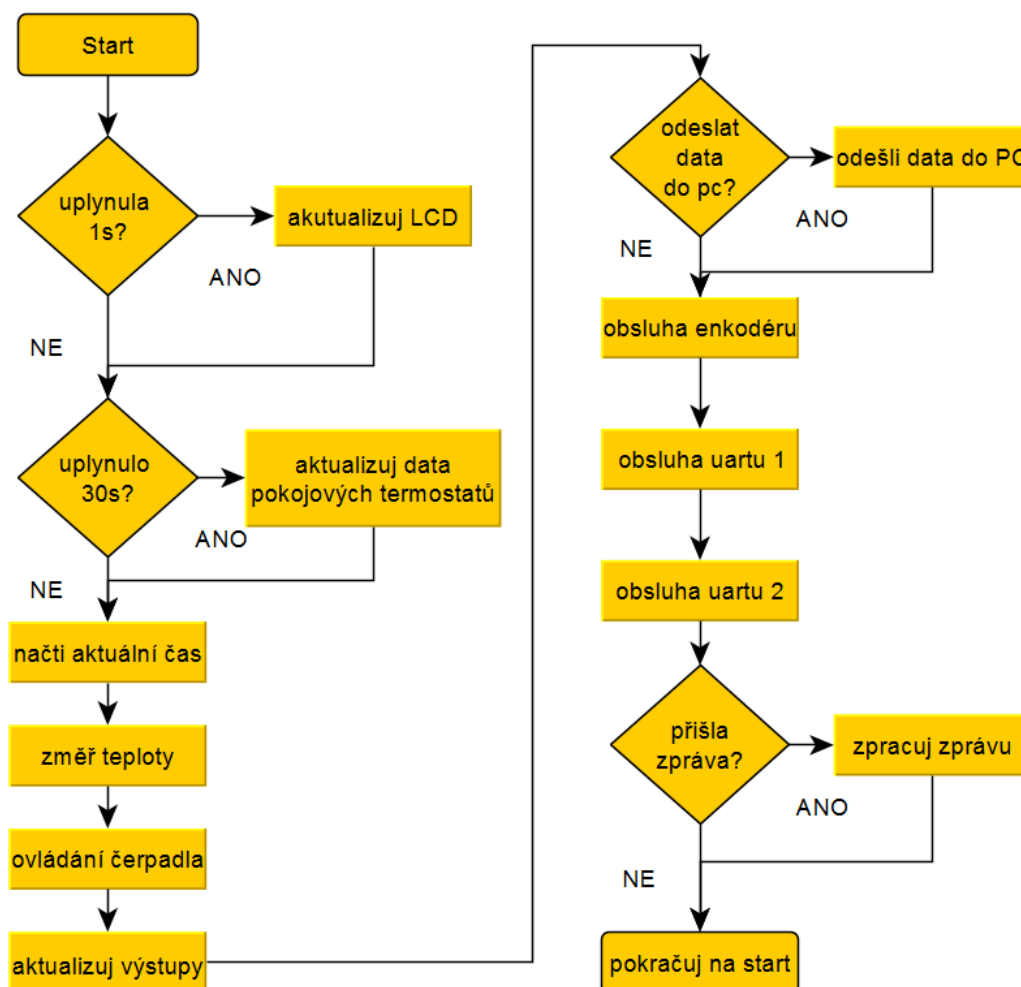
Druhý časovač Tim14 je nakonfigurován pro generování přerušení každou milisekundu. V tomto přerušení se vykonává inkrementace proměnné pro obsluhu měření času úloh a detekce otočení a stisku rotačního enkodéru, viz vývojový diagram na obrázku 5.3. Příznaky stisknutí a otočení rotačním enkodérem se poté zpracovávají mimo přerušení.



Obrázek 5.8 Vývojový diagram přerušení Tim14 hlavní jednotky

5.2.3 Obsluha hlavní smyčky hlavní jednotky

Hlavní smyčka obsahuje obsluhu většiny funkcí. Složitější úkony jsou přesunuty do volání funkcí pro větší přehlednost hlavní smyčky, případně pro možnost je přesunout do jiného souboru. Vývojový diagram hlavní smyčky je na obrázku 5.9.



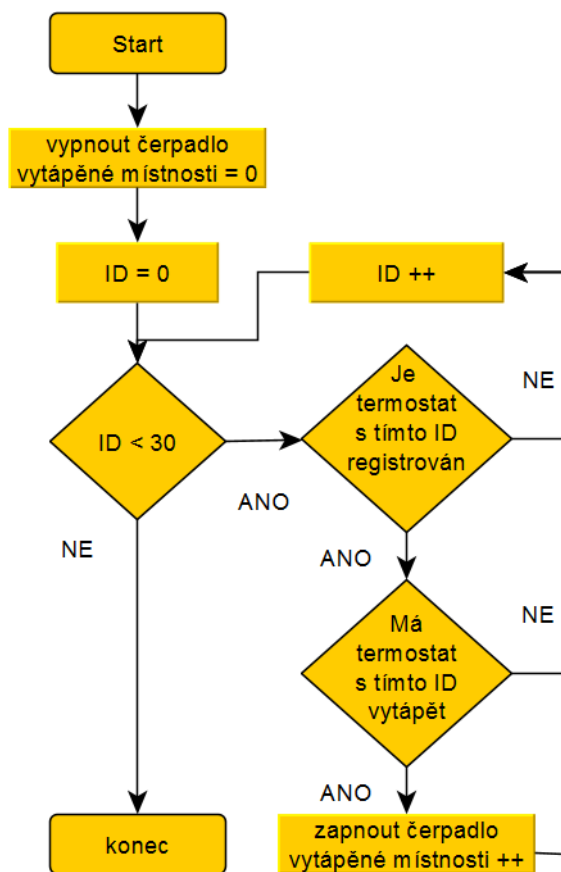
Obrázek 5.9 Vývojový diagram hlavní smyčky hlavní jednotky

Celý cyklus začíná detekcí uplynutí jedné sekundy. Pokud uplyne, obslouží se funkce znázorněné aktualizace zobrazení na LCD displeji. Toto obstarává knihovní funkce tvorby menu. Následuje třicetisekundový interval, ve kterém se aktualizují data v pokojových termostatech a zároveň se vyžádá zaslání aktuálních dat z termostátů.

Dále se načte aktuální čas z vnitřního obvodu reálného času a vykoná rutina načtení teploty z čidel. Jedná se o funkci, která vždy načte pouze jedno čidlo DS18B20. Čtení čidla obsahuje blokující čekání a obsluha velkého množství čidel v jednom okamžiku může způsobit přerušování funkce programu.

Ovládání čerpadla na vývojovém diagramu na obrázku 5.10 obsahuje cyklus, který zkontroluje zda-li některý ze zaregistrovaných termostátů nevyžaduje spustit vytápění.

zároveň počítá počet místností aby bylo případně možné omezit minimální počet místností pro spuštění čerpadla. Poté se aktualizují reléové výstupy.



Obrázek 5.10 Vývojový diagram ovládání čerpadla

V případě platného požadavku ze strany řídicího počítače připojeného pomocí sériové linky uart2, hlavní jednotka vykoná tento požadavek a zašle vyžádaná data. Obsluha enkodéru ověří, zda-li nebylo manipulováno s enkodérem a případně vykoná požadavek a zneplatní daný příznak. Obsluha obou sériových linek uart je stejná a sleduje, zda-li není k dispozici přijatý znak a ten zpracuje. Celá hlavní smyčka končí dotazem, zda-li nebyly přijaty ke zpracování data pomocí uartu, nebo bezdrátového modulu RFM95.

5.3 Popis použitých knihoven

Jednotka pokojového termostatu i hlavní jednotka využívají knihovní funkce pro obsluhu periférií připojených k mikroprocesoru. Při vývoji byl kladen důraz na zanechání knihoven v původním stavu, bohužel do každé knihovny muselo být zasáhnuto. Ve většině byly změny provedeny za účelem uzpůsobení funkcí danému mikroprocesoru a případně korigování chyb.

5.3.1 Obsluha Lo-Ra modulu RFM95

Pro obsluhu modulu RFM95 byla po dlouhém hledání nalezena knihovní funkce RadioHead [21]. Jedná se o velmi propracovaný soubor knihoven funkcí pro obsluhu několika různých modulů připojených k mnoha typům mikroprocesorů. Bohužel zvolený typ mikroprocesoru nebyl podporován. Po zjednodušení knihovny vznikl problém s programovacím jazykem. Ačkoliv bylo možné knihovnu provozovat s daným typem mikroprocesoru, kompilátor nezvládl pracovat s jazykem ve kterém byla knihovna napsaná. Knihovna je napsaná pro jazyk C/C++ ale pravděpodobně pouze pro kompilátor vývojového prostředí Arduino IDE.

Byla tedy provedena úprava a skoro přepsání všech funkcí knihoven pro standardní jazyk C a kompilátor GCC 99. Postrádalo smysl přepisovat veškeré knihovní funkce pro všechny typy mikroprocesorů, proto byly z balíku knihoven vyjmuty pouze knihovny pro použitý modul RFM95.

Velké problémy vznikly při pokusu o spojení s modulem. Nebylo možné provést inicializaci, ačkoliv data odesílaná mikroprocesorem odpovídala a souhlasila i při použití logického analyzátoru. Vše nasvědčovalo chybě modulu RFM95 zakoupeném u čínského prodejce za pětinovou cenu. Byl zakoupen tedy u českého prodejce modul zaručeně funkční. Tento modul taktéž nefungoval. Chybu bylo třeba nalézt jinde.

Po poradě s vedoucím práce nebyla chyba odhalena. Byly poskytnuty pro porovnání ověřené a funkční knihovny, které skutečně po nahrání do mikroprocesoru fungovaly. Vysílaly dokonce stejná data, jen u funkční knihovny modul odpověděl správně. Posléze byla provedena hloubková analýza knihovních funkcí a krokování programu přímo za chodu. Chyba byla posléze nalezena v způsobu odesílání dat pomocí SPI. Zatímco nefunkční knihovna používala způsob odesílání více bytů v podobě dělení na jednotlivé byte a voláním funkce pro odeslání po SPI s vložením každého bytu zvlášť, což byl převzatý způsob z originálního řešení, knihovní funkce vedoucího práce využívala sloučení bytů k odeslání do bufferu a funkci pro odeslání prostřednictvím SPI předávala již celý buffer dat. Po přepsání této části na odesílání bufferu byla následně knihovna plně funkční. Ukázka přepsané funkce je na obrázku 5.11.

```

uint8_t RHSPIDriver_spiWrite(uint8_t reg, uint8_t val)
{
    uint8_t status[2] = { 0, 0 };

    //ATOMIC_BLOCK_START;
    __disable_irq();

    //digitalWrite(_slaveSelectPin, LOW);
    HAL_GPIO_WritePin(slaveSelectPort, slaveSelectPin, GPIO_PIN_RESET);

    //status = _spi.transfer(reg | RH_SPI_WRITE_MASK); // Send the address with the write mask on
    //status = _spi.transfer(val); // Send value

    uint8_t buffer[2] = { reg | RH_SPI_WRITE_MASK, val };

    HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, buffer, status, 2, 1000);

    //digitalWrite(_slaveSelectPin, HIGH);
    HAL_GPIO_WritePin(slaveSelectPort, slaveSelectPin, GPIO_PIN_SET);

    //ATOMIC_BLOCK_END;
    __enable_irq();

    return status[1];
}

```

Obrázek 5.11 Ukázka kódu pro odesílání dat pomocí SPI

Můžeme si povšimnout ponechání originálního řešení pomocí umístění do komentářů. Nejprve se zakážou všechna přerušení z důvodu zamezení rozpadu komunikace vlivem přerušení, posléze se aktivuje modul pomocí pinu Slave Select. Poté se odesílají dva byty dat. Můžeme vidět že v originálním řešení se odešlou ve dvou částech, v aktuálním řešení se umístí do bufferu a odešlou naráz. Funkce "HAL_SPI_TransmitReceive" má vstupním parametrem periférii, buffer dat k odeslání, buffer dat k příjmu, délku obou bufferů a maximální čas trvání odesílání. Právě délka bufferu je zvolena pevně na dva byty, v nefunkčním řešení se tato funkce volala pouze s jedním bytem dvakrát.

Při testování komunikace se objevil zajímavý problém. Při přeprogramování mikroprocesoru se modul RFM95 zasekl a nefungoval správně. Toto se projevovalo zcela náhodně a bylo možné tuto situaci vyvolat stisknutím tlačítka reset na vývojovém kitu. Bylo usouzeno, že se přeruší komunikace mikroprocesoru s modulem RFM95 a následně mikroprocesor začne inicializovat modul znovu. Toto bylo vyřešeno připojením vývodu reset modulu RFM95 k pinu mikroprocesoru. Následně v inicializaci se provede reset modulu RFM95 a ten se tedy nastaví do výchozího stavu.

Reset modulu RFM95 je proveden pomocí nastavení vysoké úrovně, vyčkání padesát milisekund, posléze se nastaví nízká úroveň na pinu mikroprocesoru, což provede samostatný reset. Opět je vyčkáno dalších padesát milisekund a následně se pin nastaví na vysokou úroveň. Toto řešení odstranilo náhodné problémy s modulem RFM95

5.3.2 Komunikace pomocí sériové linky uart

Sériová linka se využívá v pokojovém termostatu pro komunikaci pomocí RS485 a v hlavní jednotce jednou pro komunikaci pomocí RS485 a druhá linka slouží ke komunikaci s počítačem. Toto je zvoleno pro vyšší spolehlivost komunikace s řídicím počítačem.

K obsluze všech sériových linek uart byly využity programové funkce získané v průběhu studia. Na začátku se spustí příjem znaků z sériové linky uart pomocí DMA. následně se spustí funkce DMA a definuje se buffer pro příjem. V nekonečné smyčce hlavního programu se neustále kontroluje, zda nebyl do bufferu přijat znak. pokud ano, znak se kopíruje a předá se funkci skládání zprávy. Tato funkce rozlišuje, zda se jedná o alfanumerický znak, pokud ano, zajistí aby byla všechna písmena převedena na stejný typ. Poté nejsou rozlišována velká a malá písmena. Toto usnadní zadávání příkazů. Pokud je přijat řídicí znak nového řádku, případně návratu na začátek, považuje se to za příznak konce příkazu a předá se k zpracování. Pokud do dvou sekund není přijmut žádný znak, smaže se řetězec znaků. Tímto se odfiltruje náhodně přijatý znak nenásledovaný řídicím znakem.

Zpracování řetězce provádí další funkce. Tato funkce nejprve oddělí první slovo oddělené mezerou pomocí funkce "strtok". Následně se toto slovo porovná se seznamem řídicích slov. Pokud je dané slovo některým z řídicích znaků, vykoná se daný příkaz. Pokud na seznamu není, zahodí se celý řetězec.

Zvláštním řídicím znakem je nastavování hodnot. Pro předání hodnot byl zvolen osmibitový formát odeslaný převedením na číslo oddělený mezerou. Pokud je přijato řídicí slovo označující sekci dat, provede se cyklus opakování funkce "strtok", tato funkce vybere opět část oddělenou mezerami. Ta je předložena funkci "strtol". Tato funkce převede číslo z řetězce na číslo typu Long. Ověří se, zdali je číslo pouze osmibitové a následně se uloží do bufferu dle pozice. Tento cyklus se opakuje do doby, dokud jsou k dispozici ve zprávě mezery oddělující čísla a nebo dokud se nedosáhne naplnění bufferu. Data se poté předají k zpracování.

Odesílání dat pomocí sériové linky uart je vykonáváno ručně pomocí přesměrování standardního výstupu funkce "printf" na sériový port, případně odesíláním řetězce.

5.3.3 Použití funkcí printf a sprintf

Pro zobrazování dat na displeji a odesílání po sériové lince uart jsou využity funkce formátovaného tisku do řetězce. Při programování jednotky pokojového termostatu byl použit formátovaný tisk pomocí "printf" s přesměrováním standardního výstupu na sériovou linku uart. V průběhu programování se vyskytla z ničeho nic chyba, která způsobila nefunkčnost formátovaného tisku. Při použití funkce "printf" se žádná data neodesílala, pouze jednou za neurčitý čas se odeslalo hodně dat najednou. Tento problém nevyřešilo ani zakázání optimalizací kódu.

Při detailním prozkoumání funkce "printf" bylo zjištěno, že provádí tisk do vnitřního bufferu, který následně po ukončení tisku odešle na standardní výstup. Toto bohužel přestalo fungovat. K vyřešení problému bylo užito volání funkce vynuceného vyprázdnění vnitřního bufferu "fflush" následující po volání funkce "printf" jak znázorňuje ukázka kódu na obrázku 5.12.

```
// send test message
printf("test message\n\r");
fflush(stdout); //now print everything in the stdout buffer
```

Obrázek 5.12 Ukázka nuceného vyprázdnění bufferu

U softwaru hlavní jednotky vznikl nový problém. Je nutné formátovaným tiskem zapisovat na tři různé výstupy. LCD displej zobrazující data, sériovou linku pro komunikaci po sběrnici RS485 a pro komunikaci s počítačem. Po předchozích problémech bylo ustoupeno od funkce "printf" a bylo využito funkce "sprintf" Tato funkce má stejné vlastnosti, jako funkce "printf", pouze tiskne do uživatelsky definovaného bufferu, který se musí pokaždé funkci určit. Nevýhodou této funkce je nutnost hlídat při tvorbě programu, zdali máme dostatečně velký buffer do kterého zapisujeme data. Následně je možné řetězec v bufferu odeslat prostřednictvím sériových linek, případně zapsat na LCD displej.

5.3.4 Obsluha čidla DS18B20 jednotky pokojového termostatu

Pro měření teploty je zvoleno čidlo DS18B20. Toto čidlo komunikuje prostřednictvím jednovodičové sběrnice. Obsluhu tohoto čidla obstarává knihovna funkcí "1wire" získaná během studia. Knihovna je původně napsána pro mikroprocesory výrobce Microchip. Z tohoto důvodu byly funkce upraveny pro aktuálně užívané mikroprocesory.

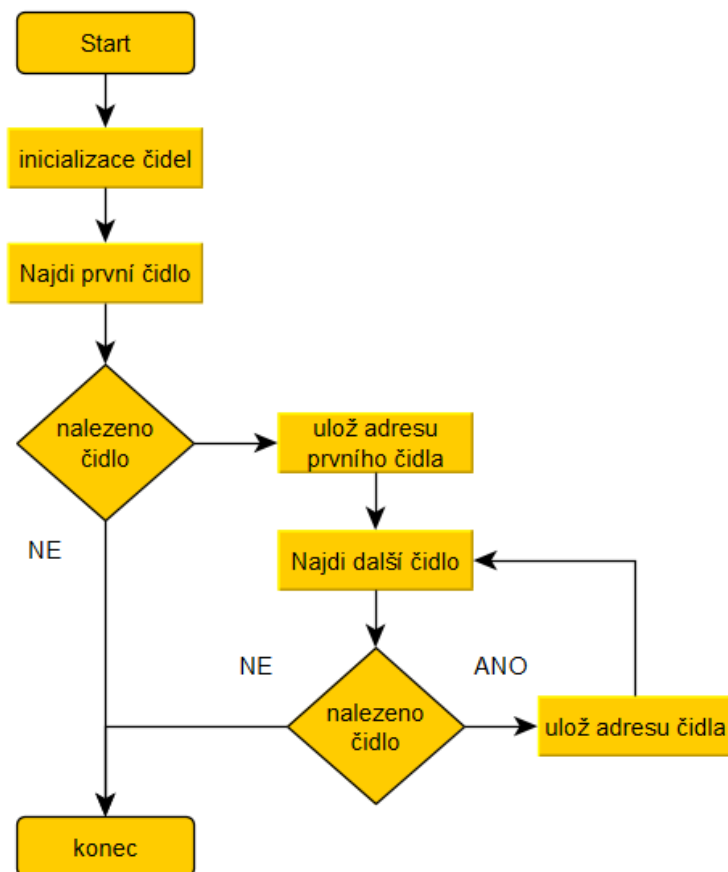
Byly upraveny funkce přístupu k pinu mikroprocesoru a musela být vytvořena zcela nová funkce blokujícího čekání po určitý počet mikrosekund. Toto je nutné z důvodu, že použité knihovny obsluhy mikroprocesoru umožňují blokující čekání pouze v milisekundách. Funkce byla poprvé vytvořena pomocí nulových instrukcí. Toto se neosvědčilo a proto byl zvolen k tvorbě této funkce hardwarový časovač Tim1. Tento časovač je volán pomocí "_delay_us" externě ze souboru main.c. Tuto funkci posléze mohou využívat další knihovny. Detailněji je vysvětlena v podkapitole 5.3.6.

Protože pokojová jednotka si potřebuje zapamatovat dva údaje, údaj o svém identifikačním čísle a údaj o nastavené teplotě, byly využity pro tyto dvě informace vnitřní registry eeprom paměti čidla DS18B20. Do knihovny byly doplněny funkce pro zápis a čtení těchto hodnot. Zápis se provádí přímo zapsáním hodnot do čidla, ale při čtení je hodnota vyzvednuta z paměti mikroprocesoru. Do této paměti je nahrána vždy s přečtením teploty. Proto je nutné nejdříve nechat čidlo změřit teplotu a až poté vyčíst dané registry.

Knihovní funkce jsou zjednodušeny pro obsluhu pouze jednoho čidla. Neobsahují vůbec funkci vyhledávání čidel, na sběrnici může být připojeno pouze jedno jediné čidlo.

5.3.5 Obsluha čidel DS18B20 hlavní jednotky

Hlavní jednotka pro svou činnost potřebuje vyčítat hodnoty z čtyř čidel teploty DS18B20. Proto bylo nutné použít knihovnu složitější, která již zvládne vyhledávat všechna připojená čidla. Vývojový diagram vyhledávání je na obrázku 5.13.



Obrázek 5.13 Vývojový diagram vyhledávání čidel

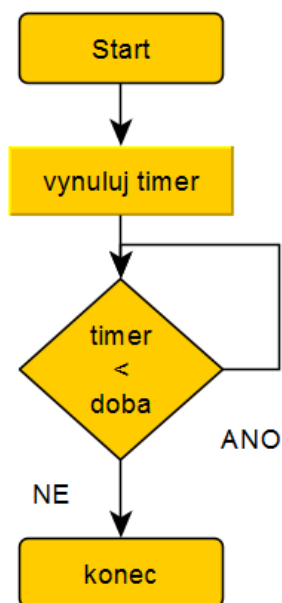
Opět je zde využita knihovna původně určená pro mikroprocesory Microchip, která byla upravena pro mikroprocesory STMicroelectronics. Je zde opět využito blokující čekání s časovačem Tim1 "_delay_us".

5.3.6 Blokující funkce čekání v mikrosekundách

Blokující čekání v mikrosekundách je funkce, kterou neobsahují výrobcem dodávané knihovny. Bylo tedy nutné přistoupit k vlastnímu definování této funkce.

První experimenty vedly k užití určitého počtu opakování prázdné instrukce. Toto řešení se ukázalo jako velmi nepřesné a k správné funkci bylo nutné dojít experimentálně pomocí náhodných pokusů o správný počet. S tímto spolehlivě zvládl pracovat driver sedmisegmentového displeje, ale nezvládla s tímto pracovat knihovna pro komunikaci s čidlem DS18B20. Bylo tedy nutné využít hardwarového časovače Tim1. Tento časovač je nakonfigurován, aby zvýšil svou hodnotu o jedna každou jednu

mikrosekundu. Vývojový diagram funkce "_delay_us" je na obrázku 5.14.



Obrázek 5.14 Vývojový diagram funkce _delay_us

Funkce přijímá šestnácti bitovou hodnotu, která umožní čekání až po přibližně 65 milisekund. Toto spolehlivě pokryje veškeré nároky knihoven na toto čekání. Pro delší čekání je možno využít funkce blokujícího čekání v milisekundách. Toto již poskytuje standardní knihovní funkce mikroprocesoru.

Na začátku se vynuluje hodnota časovače. Toto se děje z důvodu, že časovač běží trvale a vstup do funkce se může stát pouze jednou (nelze volání užít v přerušení). Následně se čítač opět nechá čítat hodnotu a neustále se kontroluje, zdali hodnota čítače nedosáhla, nebo nepřesáhla požadovanou dobu zpoždění. Poté se funkce opustí.

Při testování ale nastal problém s činností časovače. Po spuštění programu časovač nepracoval, i přesto, že bylo vše správně nastavené. Po dlouhém zkoumání se ukázalo, že při aktualizaci na novější verzi již není časovač automaticky zapnut. Nyní jej musí zapnout uživatel (obrázek 5.15). Bohužel s tímto nepočítají žádné oficiální i neoficiální ukázkové příklady.

```
// start timer Tim 1  
HAL_TIM_Base_Start(&htim1);
```

Obrázek 5.15 Zapnutí časovače tim1

5.3.7 Obsluha displeje s TM1637

Tento ovladač displeje je velmi rozšířen mezi příznivci programování Arduina. Proto pro něj existuje velké množství knihoven. Po chvíli hledání byla nalezena knihovna pro obsluhu TM1637 [22] vytvořená přímo pro mikroprocesory STM32 programované pomocí klasického kompilátoru, nikoliv kompilátoru arduina.

Tato knihovna vyžaduje blokující čekání, proto byla funkce čekání nahrazena voláním čekání vytvořeného pomocí hardwarového časovače Tim1. Ukázka upravené funkce je na obrázku 5.16. Při volání funkce je použito násobení padesáti. Toto je z důvodu, že autor knihovny špatně vypočítal zpoždění a bylo nutné jej korigovat. Tato korekce není ideální, ale není nutné zasahovat do všech funkcí knihovny.

```
void _tm1637DelayUsec(unsigned int i)
{
    // use HW timer for delay us
    _delay_us(50*i);

    /*for (; i>0; i--) {
        for (int j = 0; j < 100; ++j) {
            __asm__ __volatile__ ("nop\n\t" ::: "memory");
        }
    }*/
}
```

Obrázek 5.16 Upravené čekání na HW časovač

Při vytváření softwaru vznikl požadavek nezobrazovat pouze číslo, ale i informační znak. Pro rozlišení zobrazovaného údaje. Proto byla funkce doplněna o další vstupní údaj, který indukuje znak který se zobrazí na první pozici zleva. Ukázka kódu je na obrázku 5.17. Toto se provádí mezi rozdělením čísla na jednotlivé segmenty a zobrazením na displeji.

```
switch (c) {
    case 'i':
        digitArr[3] = 0b00010000; //show i
        break;
    case 'u':
        digitArr[3] = 0b00011100; //show u
        break;
    case 'h':
        digitArr[3] = 0b01110100; //show h
        break;
    case 't':
        digitArr[3] = 0b01111000; //show t
        break;
    default:
        break;
}
```

Obrázek 5.17 Zobrazení znaku na displeji

Originální knihovna taktéž neumožňovala potlačit nuly před číslem. Toto znesnadňuje čitelnost čísla. Opět byl doplněn kód, který kontroluje zdali není zobrazována nula. Postupuje se zleva kontrolou, zdali není první segment zleva nula. Pokud ano, kontroluje se, zda-li za ním není desetinná tečka. Toto by značilo číslo menší než nula. Pokud desetinná tečka není, zhasne se daný segment. Takto se stejně postupuje u druhého místa zleva a nakonec se zkontroluje třetí pozice zleva. U čtvrté pozice se kontrola neprovádí. Toto je z důvodu aby při zobrazení nuly nezhasl celý displej.

5.3.8 Obsluha LCD displeje hlavní jednotky a menu

Alfanumerický displej připojený k hlavní jednotce zobrazuje důležité informace pro uživatele. Protože je zde velké množství údajů k zobrazení, byla využita knihovna pro tvorbu menu. Tato knihovna posléze zprostředkovává obsluhu knihovny pro zobrazování informací na LCD displeji.

Obsluha menu začíná nejprve voláním funkce "menu_init". Tato funkce inicializuje samostatné menu, ale taktéž inicializuje a nastaví LCD displej. Posléze je již funkční a může být obsluhována. Obsluha spočívá v pravidelném volání funkce "menu_update". Tato funkce na základě aktuální pozice v menu zobrazí příslušnou obrazovku s informacemi. Zadání informací k zobrazení se děje přímo v souboru knihovny.

Pozice je určena pomocí dvou proměnných "menu_0" a "menu_1". Tyto dvě pozice určují kde se v menu nacházíme. Jejich změna se provádí pomocí třech funkcí. Dvě funkce "menu_inc" a "menu_dec" slouží pro zvýšení a snížení pozice, třetí funkce "menu_enter" slouží pro vstup do zvolené položky hlavního menu a zobrazení menu na nižší pozici. Pokud funkci zavoláme podruhé, aktivuje se příznak "menu_set", který umožní měnit hodnotu zvolené pozice. Toto je předpokládáno k dalšímu rozšíření systému a možnost lokálního nastavení bez připojení řídicího počítače. Pokud se chceme vrátit zpět z nastavení, je třeba opět zavolat funkci "menu_enter", kdy dojde k uložení nastavení a odblokování možnosti změny pozice v menu. Posléze stačí odečíst pozici v menu pomocí funkce "menu_dec" a pokud funkce narazí na dolní limit, vystoupí z vnořeného menu do hlavního menu. Tímto způsobem pomocí neustálého snižování pozice v menu se vždy dokážeme dostat na hlavní obrazovku.

5.3.9 Obsluha obvodu reálného času

Hlavní jednotka využívá výrobcem vestavěný obvod reálného času. Tento čas je zde potřebný pouze pro funkci změny útlumové teploty na normální teplotu. Taktéž pokaždé o půlnoci provede reset uživatelsky definované dočasné teploty ve všech připojených jednotkách.

Zprovoznění tohoto obvodu reálného času nebylo snadné. Ačkoliv byl v konfiguračním softwaru CubeMX nastaven obvod reálného času na čítání času s vypnutým kalendářem, obvod nepracoval správně. Po dlouhém bádání bylo zjištěno, že je nutné vždy volat funkci pro získání času i pro získání aktuálního data. Proto byl posléze aktivován i integrovaný kalendář. Vyčítání data a času funguje pouze v případě provedení obou funkcí, viz obrázek 5.18.

```

//-----
//get time from RTC
HAL_RTC_GetTime(&hrtc, &sTime, RTC_FORMAT_BIN);
time[0] = sTime.Seconds;
time[1] = sTime.Minutes;
time[2] = sTime.Hours;

HAL_RTC_GetDate(&hrtc, &sTime, RTC_FORMAT_BIN);
//-----

```

Obrázek 5.18 Správné vyčtení obvodu reálného času

5.3.10 Obsluha externích přerušení

U obou mikroprocesorů je aktivována funkce externího přerušení na základě změny na vstupním pinu. Toto přerušení je vhodné pro potřebu okamžité reakce na externí událost. Ačkoliv systém obsahuje dostatek externích vstupů, na které je vyžadována reakce, pouze jeden musí být proveden neodkladně. Jedná se o externí přerušení od obvodu RFM95. Toto přerušení značí mikroprocesoru příjem dat, které je nutno okamžitě zpracovat. V přerušení se tedy volá funkce "RH_RF95_handleInterrupt". Tato funkce obslouží driver bezdrátového modulu a zajistí příjem dat.

6 VÝROBA SYSTÉMU A FUNKCE

Tato kapitola se zabývá výrobou komponentů systému, jejich otestováním a popisem. Při realizaci vznikly potíže vysvětlené níže, které byly následně úspěšně odstraněny.

Při prvotním vývoji byla testována komunikace pomocí vývojových kitů za účelem ověření dostupnosti signálu uvnitř zděné budovy. Z tabulky 6.1 můžeme vidět, že při použití samostatného modulu bez antény byl dosah přibližně dvacet metrů, což je oproti použití ve volném prostoru velký rozdíl. Toto je dáno zdmi budovy, které mají velký útlum. Pro porovnání bylo zkoušeno spojení pomocí modulu Wi-Fi ESP8266, který zvládl komunikovat pouze skrze je jednu zeď. Z tohoto důvodu byly zvoleny moduly RFM-95, které dosáhly dobrých parametrů i v zděné budově.

Tabulka 6.1 Tabulka dosaženého spojení

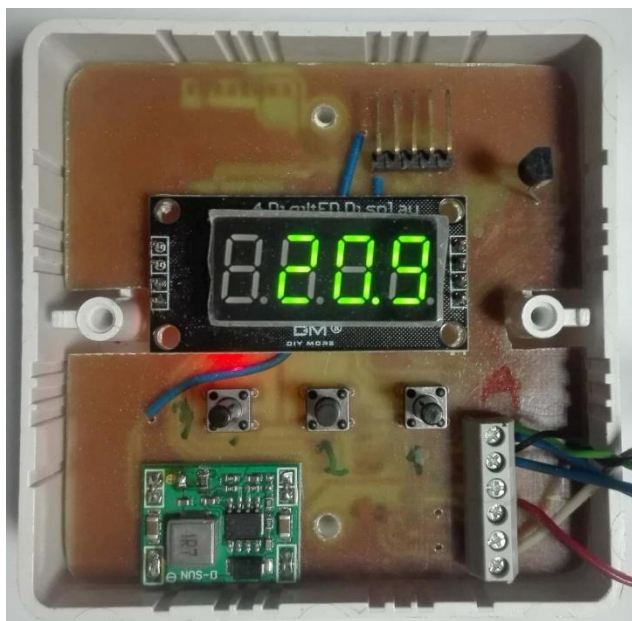
vzdálenost	anténa	překážka	spojení
do 120 m	žádná	žádná	úspěšné
do 20 m	žádná	2x cihlová zeď	úspěšné
nad 20 m	žádná	2x cihlová zeď	výpadky
nad 30 m	žádná	2x cihlová zeď	neúspěšné
do 150 m	drátová	3x cihlová zeď	úspěšné

Dále bylo testováno spojení pomocí drátové technologie RS485. Toto spojení bylo realizováno pomocí jednoho krouceného páru vodičů kabelu pro rozvod lokálních počítačových sítí. Byl využit kabel technologie CAT-5E o délce padesáti metrů, spojení bylo úspěšné. Pokud byl použit kabel délky přibližně sto metrů, při spojení docházelo k chybnému přijetí znaků.

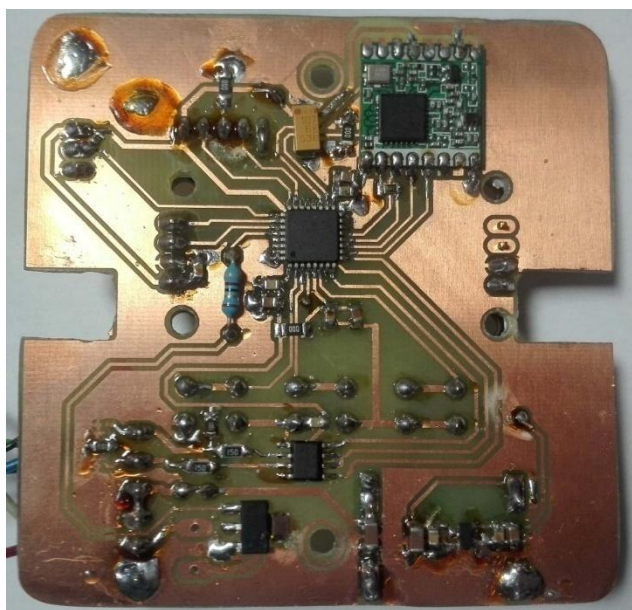
Z hlediska instalace je bezdrátová technologie jednodušší, ovšem musíme jednotky opatřit vlastním zdrojem napájení. Při kabelovém připojení je možné jednotky napájet prostřednictvím volných vodičů komunikačního kabelu. Například při použití kabelu pro rozvod lokálních počítačových sítí, CAT-5e máme k dispozici celkem čtyři páry vodičů, z čehož můžeme zbylé tři páry využít pro napájení. Pokud ovšem si nemůžeme dovolit zasahovat stavebně do budovy, je výhodnější využít bezdrátové technologie. Jednotlivé moduly taktéž bezdrátovým modulem nemusí být opatřeny. Pokud není osazen, modul pracuje pouze s drátovou sběrnici. Taktéž osazení driveru sběrnice RS485 není nutné, pokud sběrnice nebude využita.

6.1 Výroba a osazení desek plošných spojů

Po zhotovení návrhu desek plošných spojů bylo přistoupeno k jejich výrobě v domácích podmínkách. Jako první byl zhotoven prototyp jednotky pokojového termostatu, viz obrázek 6.1, zadní strana na obrázku 6.2, který byl použit přímo k vývoji softwaru. Výroba byla provedena pomocí metody přenesení motivu návrhu desky plošných spojů pomocí fotocesty.

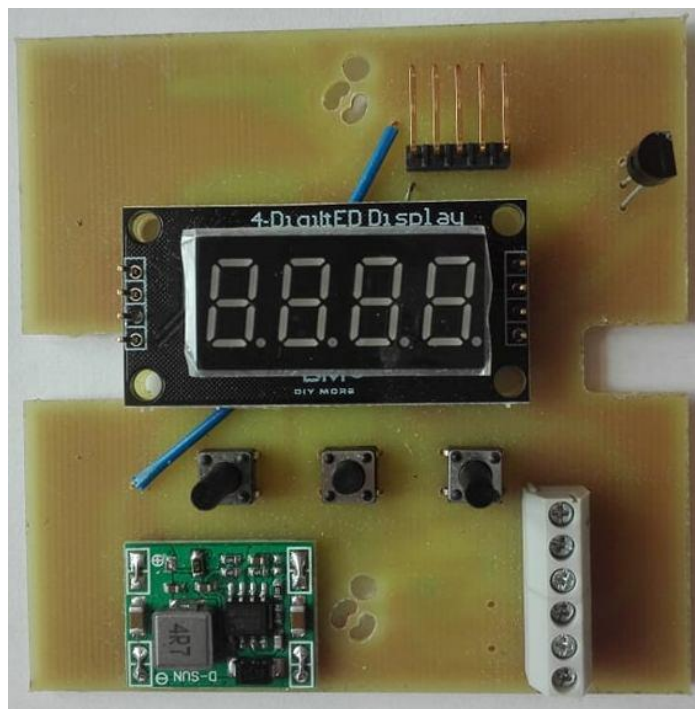


Obrázek 6.1 První prototyp jednotky pokojového termostatu - přední strana

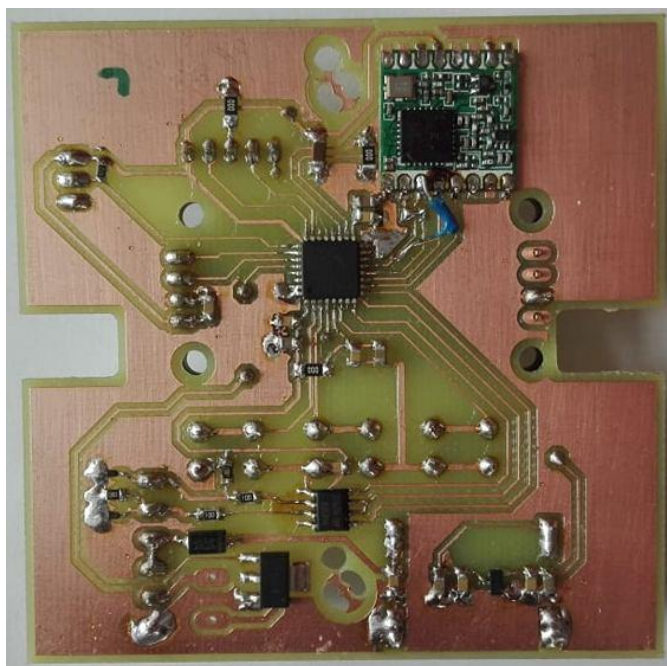


Obrázek 6.2 První prototyp jednotky pokojového termostatu - zadní strana

První prototyp je plně funkční a posléze vznikla potřeba výroby druhého, identického kusu, pro ověření funkce dvou kusů současně. Vzhledem k nemožnosti již použít metodu fotocesty, bylo přistoupeno k výrobě desky plošných spojů pomocí počítačem řízeného frézování. Fotografie druhého prototypu jsou na obrázku 6.3 z přední strany a na obrázku 6.4 je vyobrazena zadní strana.



Obrázek 6.3 Druhý prototyp jednotky pokojového termostatu - přední strana

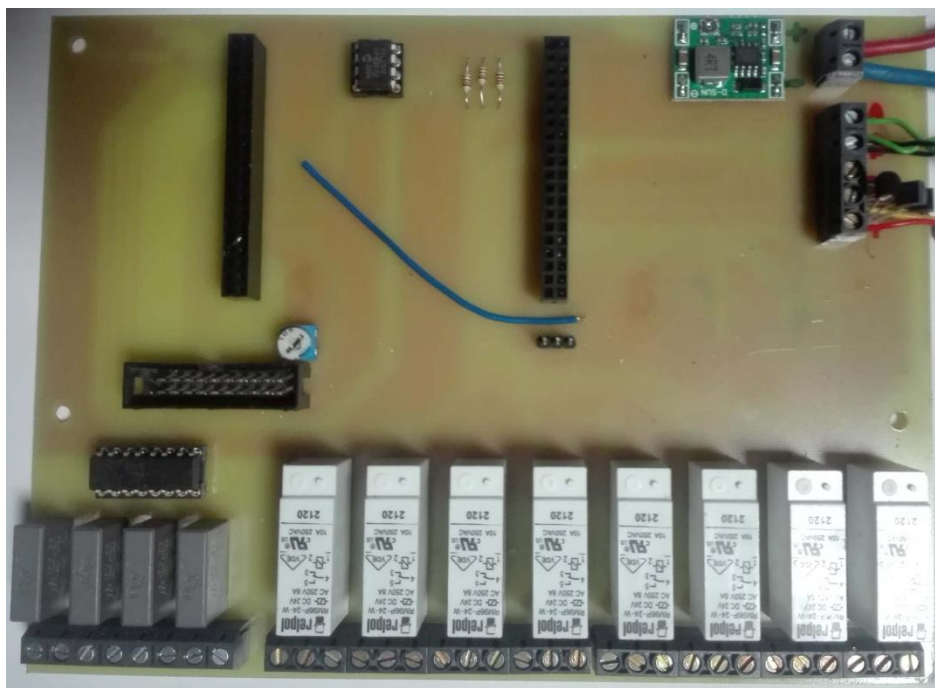


Obrázek 6.4 Druhý prototyp jednotky pokojového termostatu - zadní strana

Při porovnání metod můžeme vidět rozdíl v kvalitě zpracování. Metoda přenosu motivu fotocestou je přesná při výrobě spojů, ale je problematické správně vytvořit otvory pro součástky. Toto naopak není nutné při výrobě frézováním, kdy byla celá deska plošných spojů vyrobena, vyvrtána a oříznuta na požadovaný rozměr zcela automaticky. Nevýhodou této metody je náročnost kalibrace nástrojů. Při výrobě byl nástroj pravděpodobně špatně kalibrován a velmi zúžil cesty, dokonce jedna cesta musela být opravena. Taktéž při výrobě byl neopatrnou manipulací posunut nástroj a chybně vyvrtal poslední dva upevňovací otvory. Toto naštěstí neovlivnilo funkčnost zařízení.

Z hlediska náročnosti výroby je jednodušší výroba pomocí fotocesty, kterou je možno provádět v domácích podmínkách. Naopak pro metodu výroby pomocí frézování je třeba vlastnit drahé a výrobně přesné vybavení. Pro výrobu dvou kusů je časová náročnost výroby stejná. Z hlediska finančního, vyšší cenu fotocitlivé desky pro výrobu plošných spojů kompenzuje cena opotřebení nástrojů při frézování. Pro výrobu vícero kusů se již frézování vyplatí. Pokud vyrábíme několik desítek kusů, vyplatí se tuto práci již zadat specializované firmě.

Modul hlavní jednotky byl vyroben pouze metodou frézování, jelikož byl vyráběn spolu s druhým prototypem pokojového termostatu. Výroba tohoto modulu byla úspěšná až na nutnost opravit dva tenké spoje. Chyba těchto spojů nebyla chybou výroby, ale chybou návrhu. Při návrhu došlo k záměně dvou pinů vývojového kitu Nucleo64 a tento problém nešel odstranit softwarově. Fotografie funkčního modulu hlavní jednotky pro vývojový kit Nucleo64 je na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5 Osazený modul hlavní jednotky

6.2 Připojení jednotky pokojového termostatu

Jednotka pokojového termostatu obsahuje dva konektory. Prostřednictvím konektoru SV1 se provádí programování přímo v zapojení. Rozmístění signálů je znázorněno v tabulce 6.2.

Tabulka 6.2 Konektor SV1 jednotky pokojového termostatu

Pin SV1	Pin MCU	využití
1	3V3	3,3 V
2	PA14	SWC
3	GND	GND
4	PA13	SWD
5	NRST	NRST

Na desce plošných spojů jednotky pokojového termostatu se dále nachází konektor X1, který slouží k připojení napájecího napětí, termoelektrické hlavice a drátové komunikace prostřednictvím sběrnice RS485. Připojovací pozice jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Tabulka 6.3 Konektor X1 jednotky pokojového termostatu

Pin X1	využití
1	GND
2	hlavice -
3	hlavice +
4	napájení
5	RS 485 B
6	RS 485 A

Napájecí napětí přivedené na svorkovnici X1 může být v rozsahu 5-28 V, musí ale odpovídat napájecímu napětí použité termoelektrické hlavice. V následující tabulce 6.4 jsou uvedeny parametry napájení jednotky pokojového termostatu změřené pro napětí 12 V a 24 V.

Tabulka 6.4 Naměřené parametry napájení jednotky pokojového termostatu

stav	napětí	proud
klidový	12 V	20-30 mA
vysílání RS485	12 V	30 mA
příjem Lo-Ra	12 V	45 mA
vysílání Lo-Ra	12 V	110 mA
klidový	24 V	12-15 mA
vysílání RS485	24 V	15 mA
příjem Lo-Ra	24 V	25 mA
vysílání Lo-Ra	24 V	60 mA

Protože režimy vysílání a příjmu jsou velmi krátké, byly tyto hodnoty měřeny při úpravě vnitřního kódu pro trvalé odesílání dat. Následně změřená ustálená hodnota byla zanesena do tabulky. V klidovém stavu je rozptyl hodnoty spotřeby proudu závislý na aktuálně rozsvícených segmentech displeje. Taktéž je nutno připočítat spotřebu použité termoelektrické hlavice.

6.3 Ovládání jednotky pokojového termostatu

Tato jednotka má velmi jednoduché ovládání. Ovládá se pomocí tří tlačítek. První S1, slouží k přičítání hodnoty, druhé S2, k vstupu do nastavení identifikačního čísla a třetí S3, slouží k odečítání hodnoty. Při běžném provozu zobrazuje pouze aktuální teplotu místnosti, viz obrázek 6.6.



Obrázek 6.6 Zobrazení aktuální teploty

V případě, že dojde k zapnutí vytápění, zobrazí se před údajem o teplotě malé písmeno "h" značící vytápění. Pokud uživatel vyžaduje změnu aktuální teploty, umožňuje jednotka nastavit teplotu uživatelem pomocí tlačítek plus a minus. Stiskem tlačítek dojde k změně aktuálně nastavené teploty a při změně hodnoty a pět sekund po nestisknutí žádného tlačítka se ukazuje nastavená teplota a před ní písmeno "t". (obrázek 6.7)



Obrázek 6.7 Nastavení teploty uživatelem

Po uplynutí časového intervalu zobrazení nastavované teploty dojde k zobrazení aktuální teploty místnosti, ovšem již před teplotou svítí symbol "u", značící uživatelem definovanou teplotu pro vytápění (obrázek 6.8). Tato teplota je platná do půlnoci dne, ve kterém je nastavena, případně do doby, než uživatel nastaví stejnou teplotu, jako je uložena v hlavní jednotce.



Obrázek 6.8 Uživatelsky nastavená teplota

Poslední možnost nastavení jednotky pokojového termostatu je změna identifikačního čísla jednotky. Tato změna je vynucena, pokud nastavené identifikační číslo se nachází mimo rozsah 1-100 po připojení napájení (například u nové jednotky) případně tuto funkci lze vyvolat stiskem prostředního tlačítka. Toto tlačítko je kratší a je přístupné po sundání krycího panelu. Stiskem se vyvolá, nebo zruší nastavování identifikačního čísla. Změna se poté provádí tlačítky plus a mínus.

6.4 Připojení hlavní jednotky

Hlavní jednotka disponuje vícero konektory. Tyto konektory slouží pro připojení částí pod bezpečným napájecím napětím i pod síťovým napětím. Pro programování mikroprocesoru je osazen na vývojovém kitu přímo programátor vybavený USB portem. Konektor SV1 slouží pro připojení sériové linky uart s napětovými úrovněmi 3,3 V, viz tabulka 6.5.

Tabulka 6.5 Konektor SV1 hlavní jednotky

Pin SV1	Pin MCU	využití
1	PA2	uart TX
2	GND	GND
3	PA3	uart RX

Konektor SV2 slouží pro připojení alfanumerického displeje s řadičem HD44780 nebo kompatibilním. Dále jsou zde další vstupně výstupní piny mikroprocesoru pro připojení rotačního enkodéru a dva piny pro případné připojení I2C periferie, například displeje s řadičem připojeným pomocí této sběrnice. Rozpis konektoru se nachází v tabulce 6.6. Rotační enkodér je nezvykle připojen společným vývodem na hladinu 3,3 V, toto je z důvodu chyby autora při návrhu. Není zde potřeba připojovat žádné součástky pro potlačení zákmitů mechanických kontaktů, ošetření je vyřešeno pomocí programu.

Tabulka 6.6 Konektor SV2 hlavní jednotky

Pin SV2	Pin MCU	využití
1	GND	lcd GND
2	5V	lcd 5V
3	trimr	lcd kontrast
4	PA1	lcd RS
5	PB0	lcd R/W
6	PA4	lcd E
7	PC0	lcd D4
8	PC1	lcd D5
9	PC2	lcd D6
10	PC3	lcd D7
11	5V	lcd LED +
12	PA0	lcd LED -
13	PA15	enkodér enter
14	PB7	nevyužito
15	3V3	enkodér napájení
16	5V	nevyužito
17	PF6	enkodér A
18	PF7	enkodér B
19	SDA	nevyužito
20	SCL	nevyužito

Dalším nízkonapěťovým konektorem je konektor X1, viz tabulka 6.7, tento konektor slouží k přivedení sběrnice RS485.

Tabulka 6.7 Konektor X1 hlavní jednotky

Pin X1	využití
1	RS 485 A
2	RS 485 B

Pro připojení napájení slouží konektor X10, viz tabulka 6.8.

Tabulka 6.8 Konektor X10 napájení hlavní jednotky

Pin X10	využití
1	napájení
2	GND

Na tento konektor je nutné přivést napájecí napětí, které odpovídá napětí cívek použitých relé. Pokud použijeme relé RY210024 s cívkou na 24 V, je nutné napájet hlavní jednotku tímto napětím. Naměřené parametry napájení jsou v tabulce 6.9, pro napěťovou hladinu 12 V je nutno počítat s přibližně dvojnásobným proudem.

Tabulka 6.9 Naměřené parametry napájení hlavní jednotky

stav	napětí	proud
klidový	24 V	45 mA
vysílání RS485	24 V	55 mA
příjem Lo-Ra	24 V	62 mA
vysílání Lo-Ra	24 V	110 mA
každé sepnuté relé	24 V	+10 mA

Posledním konektorem pro připojení periférií je konektor pro připojení čtyř teplotních čidel DS18B20. Tato čidla jsou připojena na konektor X15 viz tabulka 6.10.

Tabulka 6.10 Konektor X15 hlavní jednotky

Pin X15	využití
1	gnd
2	data
3	3V3

Zbylé konektory slouží pro připojení periférií na hladině síťového napětí. Hlavní jednotka je do budoucna vybavena vícero výstupy a vstupy. Aktuálně jsou využity pouze tři reléové výstupy, viz tabulka 6.11.

Tabulka 6.11 Využitá relé hlavní jednotky

Relé	využití
K1	oběhové čerpadlo
K2	spínání TČ
K3	spínání elektrokotle

Výstupní relé jsou přivedena na svorky X2 až X9. Konektory všech relé jsou identicky zapojeny. Pro relé K1 odpovídá konektor X2, u relé K2 je to konektor X3 až po relé K8, které je vyvedeno na konektor X9. Všechny tyto konektory jsou uzpůsobeny pro práci se síťovým napětím. rozpis připojení je na tabulce 6.12.

Tabulka 6.12 Konektory X2 až X9 výstupních relé

Pin X2 - X9	využití
1	COM
2	NC
3	NO

Poslední, aktuálně nevyužité, konektory jsou svorky pro připojení vstupních signálů o střídavém síťovém napětí. Připojení čtyř konektorů X11 až X14 znázorňuje tabulka 6.13

Tabulka 6.13 Konektory X11 až X14 vstupních opticky oddělených signálů

Pin X11- X14	využití
1	AC 230V L
2	AC 230V N

6.5 Ovládání hlavní jednotky

Hlavní jednotku lze nastavovat a ovládat pouze prostřednictvím připojeného počítače pomocí sériové linky uart. Rotačním enkodérem lze pouze změnit zobrazované obrazovky menu. Nelze nikterak zasáhnout do chodu systému. Po zapnutí napájení se zobrazí hlavní obrazovka, viz obrázek 6.9.



Obrázek 6.9 Hlavní obrazovka menu hlavní jednotky

Na displeji je zobrazena na prvním řádku venkovní teplota, následně aktuální čas. Druhý řádek zobrazuje teplotu uprostřed akumulární nádrže, za ní následuje teplota vrchní části nádrže "U". Pod teplotou vrchní části nádrže se nachází teplota spodní části nádrže "D". Tyto teploty jsou orientační, lze pomocí nich například odhadnout nutnost vyčištění filtru vody výměníku tepelného čerpadla. Pokud je rozdíl teplot v rozporu s manuálem tepelného čerpadla, je nutné toto řešit.

Třetí řádek poté zobrazuje stav vytápění. Aktuálně se nevytápí žádná místnost, je tedy zobrazen nápis "Heat OFF". Pokud se ale vytápění aktivuje, zobrazuje se nápis "heat room" a počet místností, ve kterých se aktuálně topí. Poslední řádek je věnován indikaci nahřívání akumulární nádrže a to zda je nahřívána pomocí tepelného čerpadla, elektrokotle a nebo není nahřívána vůbec, což je tento případ.

Otočením rotačního enkodéru se dostaneme do menu zobrazení všech pokojových jednotek termostatů připojených k hlavní jednotce. Pokud je dané identifikační číslo obsazeno, zobrazí se aktuálně vyčtené parametry. Jedná se o teplotu v místnosti, nastavenou teplotu, příznak vytápění, pokud se vytápí a způsob komunikace, viz

obrázek 6.10.



Obrázek 6.10 Zobrazení registrovaných termostatů

Na první pozici se nachází pokojová jednotka komunikující po kabelu, na druhém řádku je druhá pokojová jednotka, která komunikuje pomocí bezdrátového modulu RFM95. Třetí pozice je volná a není zde zaregistrována žádná pokojová jednotka. Dalším otáčením rotačním enkodérem můžeme procházet všech třicet pozic pro pokojové termostaty.

Konfiguraci hlavní jednotky je možné aktuálně provádět pouze prostřednictvím sériové komunikační linky uart propojené s počítačem. Pro komunikaci byl zvolen jednoduchý protokol na základě řídicího slova a za sebou jdoucích čísel oddělených mezerou. Prvním řídicím slovem je slovo "SID" toto slovo značí pokyn nastavení parametru pro jednotku pokojového termostatu s daným identifikačním číslem. Struktura hodnot následujících řídicí slovo je v tabulce 6.14.

Tabulka 6.14 Struktura dat řídicího slova "SID"

číslo	údaj	hodnota
1	id termostatu	1-30
2	registrace	0 = zakázáno / jiné povoleno
3	povolení vytápění	0 = zakázáno / jiné povoleno
4	normální teplota	celé číslo teploty násobené dvěma
5	útlumová teplota	celé číslo teploty násobené dvěma
6	povolení dvou teplot	0 = zakázáno / jiné povoleno
7	útlum - hodiny	0-23
8	útlum - minuty	0-59
9	normální - hodiny	0-23
10	normální - minuty	0-59

Normální a útlumová teplota se odesílá ve formátu násobků 0,5 °C. Jedná se tedy o celočíselný výsledek násobení požadované teploty dvěma.

Dalším řídicím slovem pro nastavení je "SMA" tímto značíme že zasíláme nastavení hlavní jednotce. Aktuálně hlavní jednotka umožňuje nastavit pouze teplotu přechodu z tepelného čerpadla na elektrokotel a zpět. Teplota se odesílá jako celé číslo, viz tabulka 6.15

Tabulka 6.15 Struktura dat řídicího slova "SMA"

číslo	údaj	hodnota
1	teplota zapnutí TČ	celé číslo teploty
2	teplota vypnutí TČ	celé číslo teploty

Dalším slovem, kterým se nastavují parametry je slovo "time", které nastaví aktuální čas, viz tabulka 6.16.

Tabulka 6.16 Struktura dat řídicího slova "time"

číslo	údaj	hodnota
1	hodiny	0-23
2	minuty	0-59
3	sekundy	0-59

Hlavní jednotka přijímá taktéž řídicí slova bez dat, která slouží k zaslání dat zpět. Prvním řídicím znakem je "GAT". Tento příkaz dá pokyn zaslat za sebou všechny údaje všech termostatů z paměti. Další podobný řídicí příkaz je "GMA", tento naopak pošle data parametrů hlavní jednotky. Struktura dat je shodná s řídicím slovem "SID" a "SMA".

6.6 Záložní zdroj a napájení

Pro napájení a záložní zdroj byla vybrána záložní stanice pro stolní počítač s napětím akumulátorů 24 V. Tato stanice je již instalována v kotelně pro zálohu chodu čerpadel v případě výpadku sítě. Současně jsou zde instalovány i dva akumulátory 12 V 105 Ah, které zajistí chod systému po dobu minimálně dvou dnů, pokud jsou zálohovaná čerpadla v provozu neustále.

V reálném provozu oběhové čerpadlo krbové vložky je v provozu jen pokud se topí, oběhové čerpadlo pro radiátory je v provozu s novým systémem jen pokud je potřeba vytápět místnosti.

Systém je k akumulátoru připojen pomocí odpojovače při podpětí [23]. Tento odpojovač je již součástí elektroinstalace kotelny, je z něj napájeno zálohované osvětlení. Hlavní jednotka je připojena pomocí tavné pojistky 0,5 A, pro jednotky pokojových termostatů připojených pomocí kabelu a napájených po kabelu je nutné zvolit pojistku dle jejich počtu. Zároveň je nutno brát v potaz připojené termoelektrické hlavice a jejich spotřebu. Důležitým faktorem je také maximální proudová zatížitelnost použitého kabelu pro vedení napájecího napětí. Tyto údaje je nutné vypočítat při návrhu konkrétní instalace.

Protože ale jsou použity termoelektrické hlavice, které bez napájení otevírají ventily, není nutné zálohovat napájení systému a oběhové čerpadlo spustit v případě potřeby manuálně. Tuto část je vhodné přizpůsobit konkrétní aplikaci systému.

7 ZÁVĚR

V rámci práce byly prostudovány některé systémy pro řízení vytápění rodinných domů. Po prostudování vlastností jednotlivých systémů byl vytvořen návrh nového systému, který by vyhovoval plánované aplikaci při řízení systému vytápění s akumulací nádobou a více zdroji tepla. Byly vytvořeny požadavky na jednotku pokojového termostatu a hlavní jednotku systému. Obě tyto jednotky byly úspěšně vytvořeny po stránce hardwaru. Po softwarové stránce je systém funkční, ale pro reálné nasazení je třeba jej lépe dokončit. Toto řešení tedy není vhodné pro reálné nasazení, nicméně se jedná o funkční prototypy.

V rámci práce se nezdařilo vytvořit webové rozhraní řídicího počítače se systémem na bázi Linuxu, nicméně systém je na jeho připojení k hlavní jednotce připraven. Dále se nepodařilo zcela dokončit hybridní komunikaci. Tato komunikace je funkční, ale jednotlivé funkce se nepodařilo přesunout do uceleného souboru.

Systém je i skrze problémy v průběhu vývoje funkční. Jednotlivé komponenty vzájemně komunikují jak pomocí drátové, tak bezdrátové technologie.

Pro reálné použití je nutné odstranit problém v podobě nedostatečného zabezpečení bezdrátové komunikace. Dále je zde připraven hardware pro další vývoj systému, hlavní jednotka obsahuje paměť pro eeprom paměť pro uložení dat, které nebude posléze nutné vždy nahrát z řídicího počítače. Dále je zde připravena možnost dokončit uživatelské rozhraní pro nastavování celého systému nejen pomocí počítače, ale i lokálně uživatelem prostřednictvím displeje a rotačního enkodéru.

LITERATURA

- [1] Ekvitermní regulace [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [2] Programovatelná termohlavice [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.santec-electronic.cz/Programovatelná-termohlavice-Homexpert-by-Honeywell-HR-20-Style-8-28-d5464.htm>
- [3] Systém regulace MAX [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/ovladejte-vytapani-bezdratove-se-systemem-max.t145>
- [4] Datasheet RFM-95 [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://cdn.sos.sk/productdata/10/63/9962461c/rfm95w-868-s2-1.pdf>
- [5] Sběrnice RS-485 [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>
- [6] Datasheet DS18B20 [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [7] Datasheet TM1637 [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_TM1637.pdf
- [8] Datasheet HD44780 [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>
- [9] Datasheet MP1584 [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MP1584/MP1584.pdf>
- [10] Datasheet AP2125 [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP2125.pdf>
- [11] Application notes for STM32F030 [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/c9/19/d7/b8/6b/0e/4c/d3/DM00051986.pdf/files/DM00051986.pdf/jcr:content/translations/en.DM00051986.pdf
- [12] Datasheet nucleo64 [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/98/2e/fa/4b/e0/82/43/b7/DM00105823.pdf/files/DM00105823.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105823.pdf
- [13] Datasheet ST3485 [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/567f7333f3724e7dff98f994199f9636/ST3485EBDR.pdf>
- [14] Datasheet RY210024 [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1885113.pdf>
- [15] Datasheet 2N7002 [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.onsemi.cn/pub/Collateral/NDS7002A-D.PDF>
- [16] Datasheet 1n4148 [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/docs/85557/1l4148.pdf>

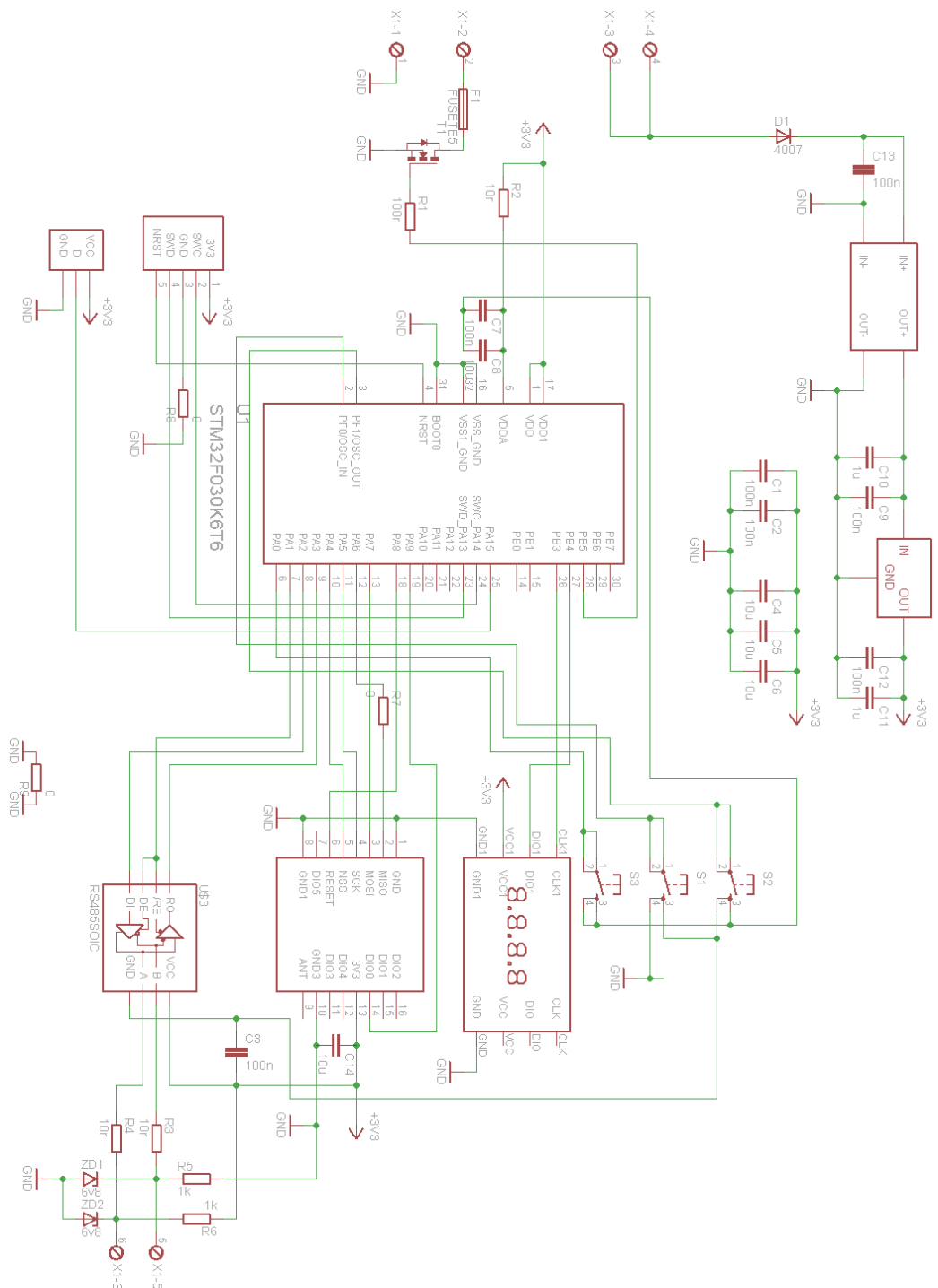
- [17] *Datasheet LTV-844* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://optoelectronics.liteon.com/upload/download/DS-70-96-0013/LTV-8X4%20series%20201509.pdf>
- [18] *Online výpočet LED žárovky* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.danyk.cz/ledzar.html>
- [19] *Použitý modul LED displeje* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/Red-Blue-Green-White-Yellow-0-36-0-56-inch-TM1637-4-Bit-LED-Display-Clock-Tube/312192444849?ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT&_trksid=p2060353.m2749.12649
- [20] KERNIGHAN, Brian W. a Dennis M. RITCHIE. *Programovací jazyk C*. 2. vydání. Přeložil Zbyněk ŠÁVA. Brno: Computer Press, 2019. ISBN 978-80-251-4965-2.
- [21] *Knihovny pro RFM95* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: https://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/classRH__RF95.html
- [22] *Knihovny pro TM1837* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/rogerdahl/stm32-tm1637>
- [23] *Modul odpojení akumulátoru* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely/propojeni.a.sledovani.baterii/ochrana.baterii/odpojovac.baterie.kemo.m148.24.12.24v.dc>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

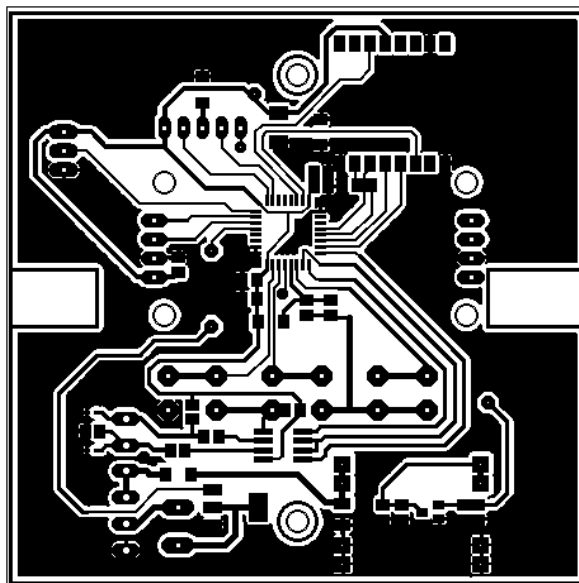
Lo-Ra	Long Range - způsob modulace komunikace
SPI	Serial Peripheral Interface - typ komunikační sběrnice
FEC	Forward Error Corection - způsob odstranění vzniklých chyb ve zprávě
MCU	Micro Controller Unit - mikroprocesor
CRC	Cyclic Redundant cheack - cyklický redundantní součet
ID	IDentification - Identifikační číslo
LCD	Liquid Crystal Display - Displej s tekutými krystaly
DPS	Deska Ploškových Spojů

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení jednotky pokojového termostatu

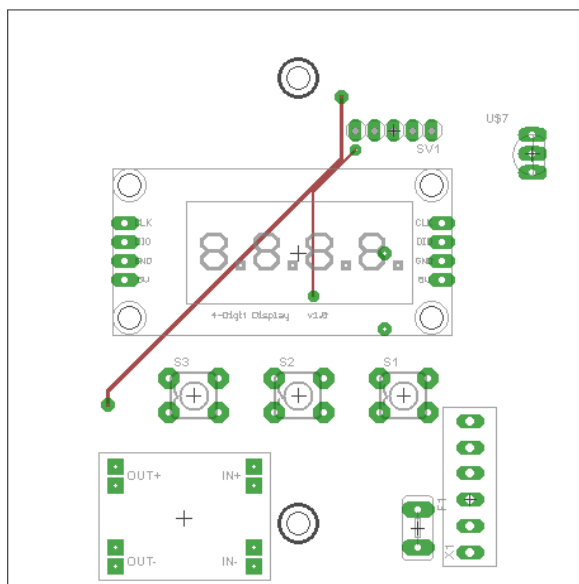


A.2 Deska plošného spoje jednotky pokojového termostatu

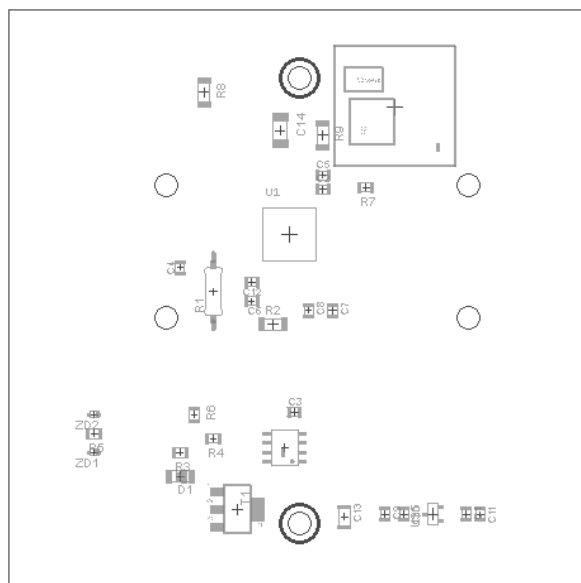


Rozměr desky 77 x 77 [mm], měřítko M1:1

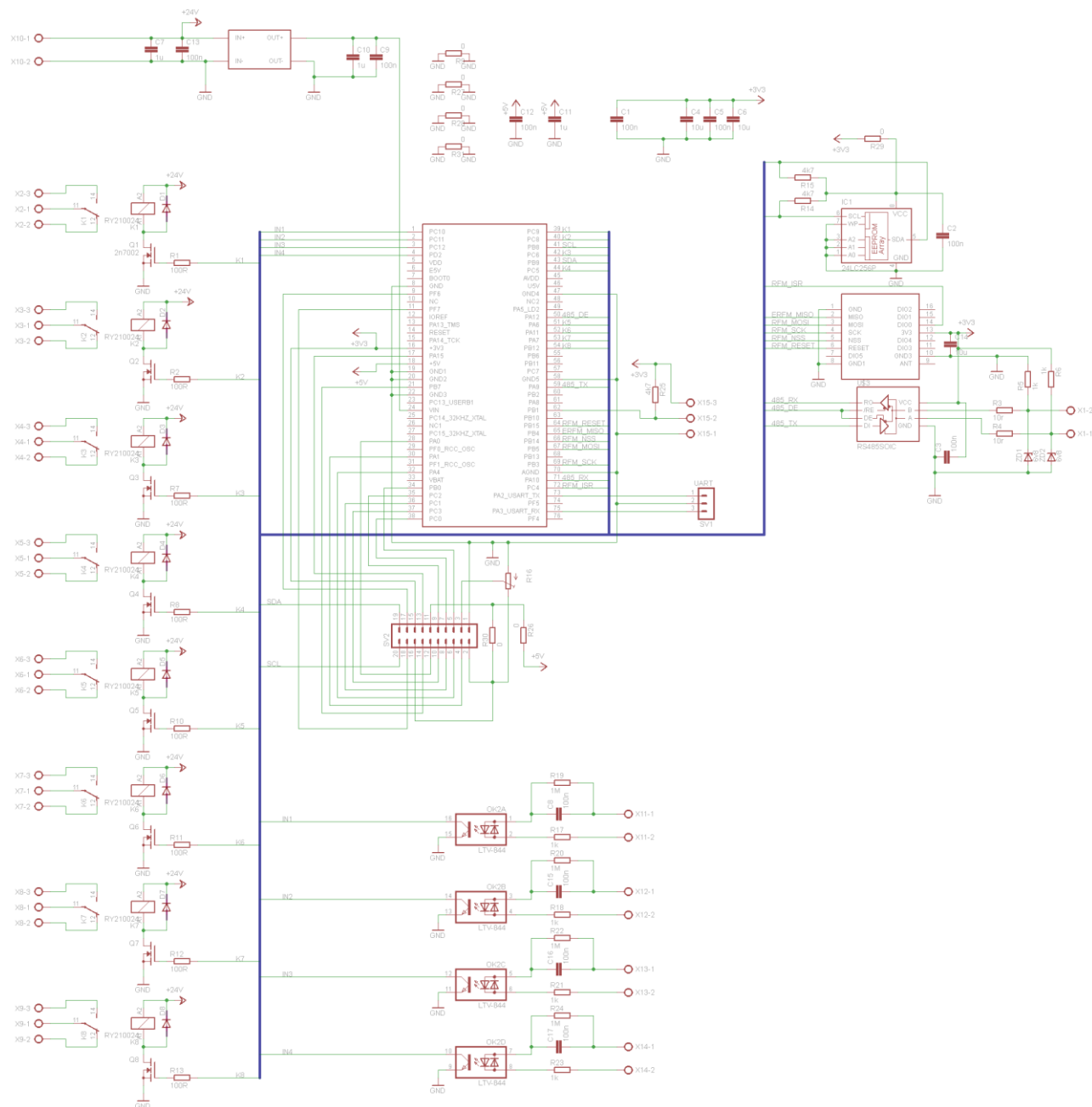
A.3 Osazovací plán plošného spoje jednotky pokojového termostatu (top)



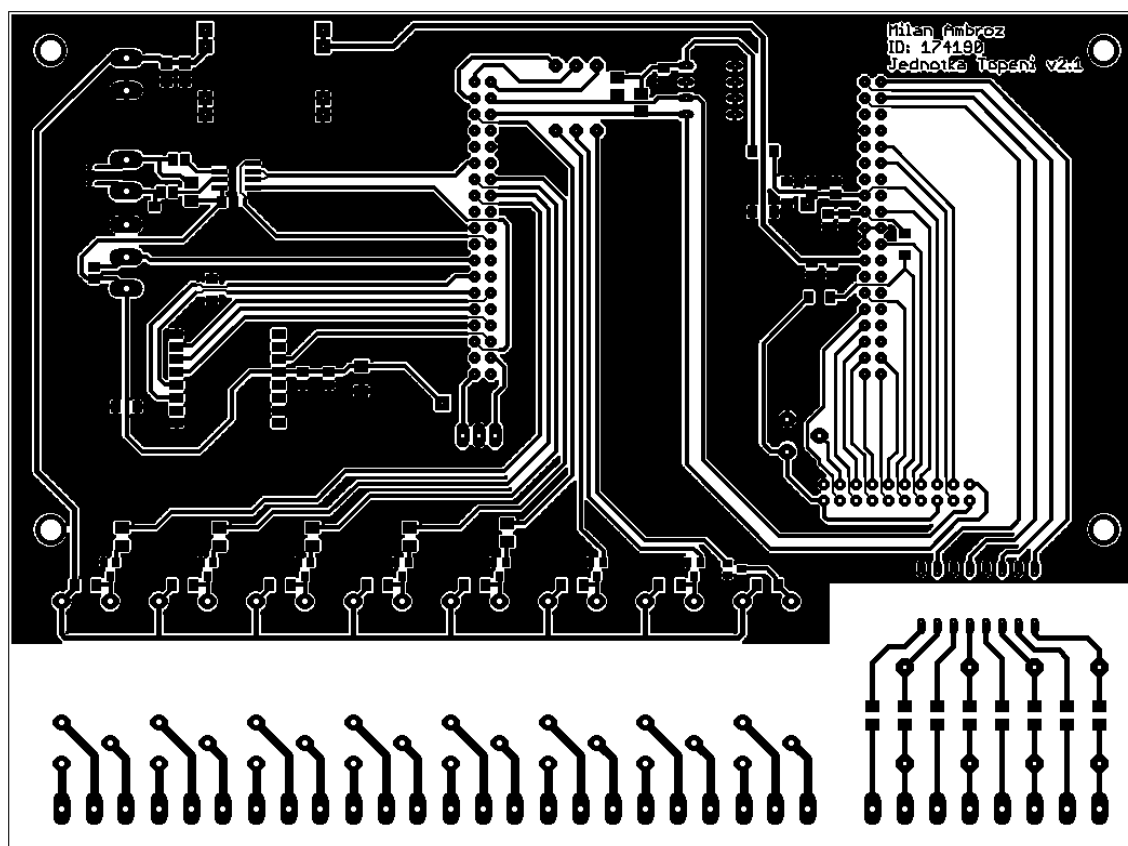
A.4 Osazovací plán plošného spoje jednotky pokojového termostatu (bottom)



A.5 Obvodové zapojení hlavní jednotky

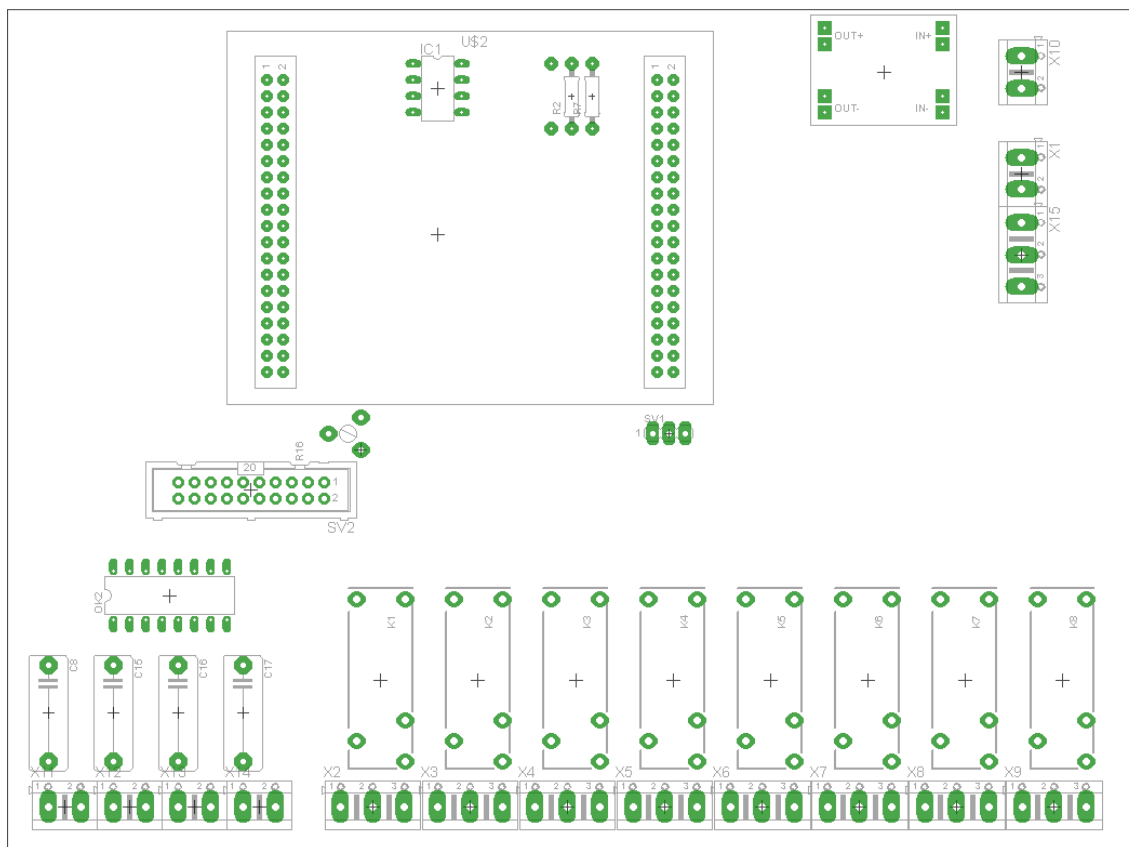


A.6 Deska plošného spoje hlavní jednotky



Rozměr desky 177,47 x 131,83 [mm], měřítko M1:1

A.7 Osazovací plán plošného spoje hlavní jednotky (top)



A.8 Osazovací plán plošného spoje hlavní jednotky (bottom)

